



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ČEPU S PŘÍRUBOU

MANUFACTURING OF PIN WITH FLANGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Věra Černá

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Věra Černá**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba čepu s přírubou

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby čepu s přírubou z oceli. Součástka je prostorového tvaru a bude vyráběna technologií zápusťkového kování. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost součástky
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace
- provést technicko-ekonomické hodnocení

Seznam literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM (2007) 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o. (2006) 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně (1992) 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. (1994) 230 s.

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, (2007) 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

HÝSEK, Rudolf. Tvářecí stroje 1971. 1. vydání. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury (1972).

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL (1980). 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT (1990) s. 250.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

ČERNÁ Věra: Výroba čepu s přírubou.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru Strojírenské technologie předkládá návrh na technologii výroby výkovku – čepu s přírubou – vyráběného zápusťkovým kovááním z materiálu 15 142. Výkovek bude zhotoven několika úderů v dokončovacím zápusťci. Vzhledem k sériovosti 800 000 ks za rok a vypočítané potřebné síle posledního úderu, se výkovek bude vyrábět na protiběžném bucharu KHZ – 2 o jmenovité energii 20 kJ. Kovací zápusťky jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 552 a tepelně zpracovány podle výkresové dokumentace.

Klíčová slova: čep s přírubou, ocel 15 142, protiběžný buchar, zápusťkové kováání

ABSTRACT

ČERNÁ Věra: Manufacturing of pin with flange.

The project elaborated within the Bachelor study of the branch Manufacturing technology presents a technology proposal of a forged piece – pin with a flange – made by drop forging from material 15 142. The forged piece will be carried out by several hits in the finishing die. Regarding to the seriality, 800 000 pieces per year, and calculations of necessary strength for the last hit, the forged piece will be made on a counterblow hammer KHZ – 2 with energy of 20 kJ. Forging dies are made of tool steel 19 552 and heat treated according to the drawing documentation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Černá, Věra. *Výroba čepu s přírubou*. Brno, 2016. s,3 výkresy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 17.6.2016

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Obsah

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Úvod.....	9
1 Rozbor zadání.....	10
1.1 Variantní řešení výroby.....	12
2 Technologie zápusťkového kování.....	14
2.1 Návrh výkovku.....	16
2.2 Nástroje.....	19
2.2.1 Výronková drážka.....	21
2.2.2 Vedení.....	21
2.2.3 Upínání.....	22
2.3 Stroje.....	23
2.3.1 Potřebná práce.....	24
3 Návrh výroby.....	25
3.1 Tvar a rozměry výronkové drážky.....	26
3.2 Polotovar, ohřev.....	27
3.3 Potřebná práce a stroj.....	28
3.4 Nástroj – zápusťka.....	29
3.5 Ostříhovací síla.....	31
3.6 Volba stroje.....	32
4 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	35
4.1 Náklady na výrobu – obrábění.....	35
4.2 Náklady na výrobu – zápusťkové kování.....	36
5 Závěry.....	37

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam výkresů

ÚVOD [1],[8]

Jedním z hlavních technologických směrů v oblasti strojírenské výroby je objemové tváření kovů, které je hojně využívanou metodou po řadu století. Dosahuje se jím požadovaného tvaru a rozměrů s maximálním využitím materiálu.

Podle typu polotovaru a výrobních teplot se objemové tváření dělí na tváření za studena a za tepla. Součástky tvářené za studena musejí odolávat většímu deformačnímu odporu, než-li tomu je při tváření za tepla. Proto se součásti z hůře tvářitelného materiálu nebo tvarově složité výrobky předeřívají, aby se mohly lépe tvářet do požadovaného tvaru. Vyrábět tak lze pomocí volného nebo zápustkového kování. Obě metody mají své výhody a nevýhody a dle požadavků na výrobu se volí ta nejvhodnější. Výkovky velkých rozměrů, kde příliš nezáleží na přesnosti, jsou kovány volně. Zato součásti střední a menší velikosti s požadavkem na vysoké rozměrové a tvarové přesnosti, jakosti povrchu a požadované struktury se kovají v zápustce.

Po celém světě je řada odvětví, která se bez dílů vyráběných kováním neobejdou. Příkladem může být energetika (parní turbíny), elektrotechnika (elektrické generátory) a automobilový průmysl (klikové hřídele). Produkty objemového tváření za tepla jsou znázorněny na obr. 1.



Obr. 1 Příklady výrobků objemového tváření za tepla [27]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [1],[2],[3],[5],[6],[8],[13],[22],[23],[24],[26]

Práce se zabývá výrobou čepu s přírubou, který je součástí kloubu přední výkyvné nápravy motorového vozidla. Kloub zvaný kulový čep, viz obr. 2, je uchycen pomocí šroubů za přírubu k těhlici kola, zároveň přišroubován za konec čepu ke spojovací tyči řízení a řídicí páce. Sestavený kloub přenáší síly v řízení, jakmile dojde ke změně úhlu mezi rameny.

Celá sestava je složena z kulového kloubu a čepu s přírubou, pryžovými výstelkami a manžetou. Výstelky a pánev z pryže zamezují vysokému tření mezi kulovým kloubem a plochami čepu. Nezbytným doplňkem je mazivo, které snižuje jejich opotřebení a tím i prodlužuje životnost výrobku. Pryžová manžeta zabráňuje vniknutí vody či nečistot do vnitřních prostor kloubu. Při jejím poškození se čep stává nepoužitelným, protože přítomnost vody či nečistot způsobí velké opotřebení mezi kulovým kloubem a vnitřními plochami čepu. Kloub tak ztrácí na svoji funkčnosti a musí se neprodleně vyměnit. Jednotlivé části kloubu jsou zobrazeny na obr. 3.

Součást je tvořena přírubou lichoběžníkového tvaru o rozměrech 90 x 78,4 mm. Širší část příruby je zaoblena na poloměr 50 mm. V rozích jsou vyvrtány čtyři otvory se závitem M10. Ze středu příruby vystupuje čep kuželovitěho tvaru o průměru 48mm v délce 25mm. Konec čepu je zaoblený na poloměr 5 mm. Vnitřní otvor o průměru 40 mm je opatřen fazetkou se zkosením 40° po obvodu. Vzhledem k funkčnosti čepu a jeho těsnosti s kulovým kloubem jsou vnitřní plochy otvoru tolerovány IT7. Základní rozměry součásti jsou znázorněny na obr. 4.

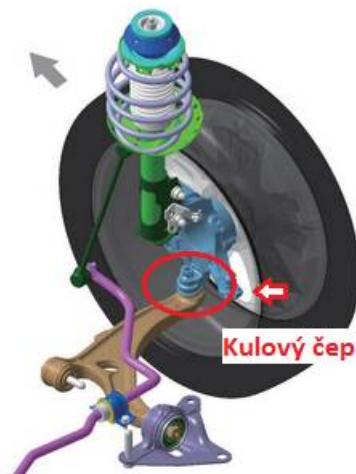
Vzhledem k dynamickému namáhání celého čepu a opotřebení jeho vnitřních ploch se daná součást bude vyrábět z chrom-molybdenové oceli (15 142). Podrobné chemické složení oceli je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Chemické složení oceli 15 142 [22]

ČSN 415142								
Prvky	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni max.	P max.	S max.
Chem. složení v %	0,38-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	0,90-1,20	0,15-0,30	0,5	0,035	0,035

Tab. 2 Tepelné zpracování oceli 15 142 [22]

Tvrdost ve stavu		
Žihání na měkko	Zušlechťování	Povrchově kaleno
HB max.	HRC min.	HRC min.
217	359	53



Obr. 2 Zavěšení kola [23]



Obr. 3 Sestava kloubu

Zvolený materiál zaručí dostatečně vysokou pevnost, menší opotřebení vnitřních ploch a dobrou houževnatost. Pro dosažení vysoké pevnosti se součásti z téhož materiálu zušlechťují a povrchově kalí. Jelikož se jedná o nízkoalloyovanou ušlechtilou ocel, lze ji tvářet za tepla v rozmezí teplot 1100°C až 850°C. Materiál je vhodný také k obrábění, ale pouze ve stavu žíhaném na měkko, nebo pokud je zušlechtěný s nižší pevností. Mechanické vlastnosti oceli v zušlechtěném stavu pro součást o průměru větším jak 40 mm jsou následující $R_m = 900 - 1100$ MPa, $R_e = 650$ MPa, $A = 12$ %. Při povrchovém kalení ocel dosahuje tvrdosti povrchu HRC min. 53 a během žíhání na měkko může dosáhnout maximální tvrdosti HB 241.

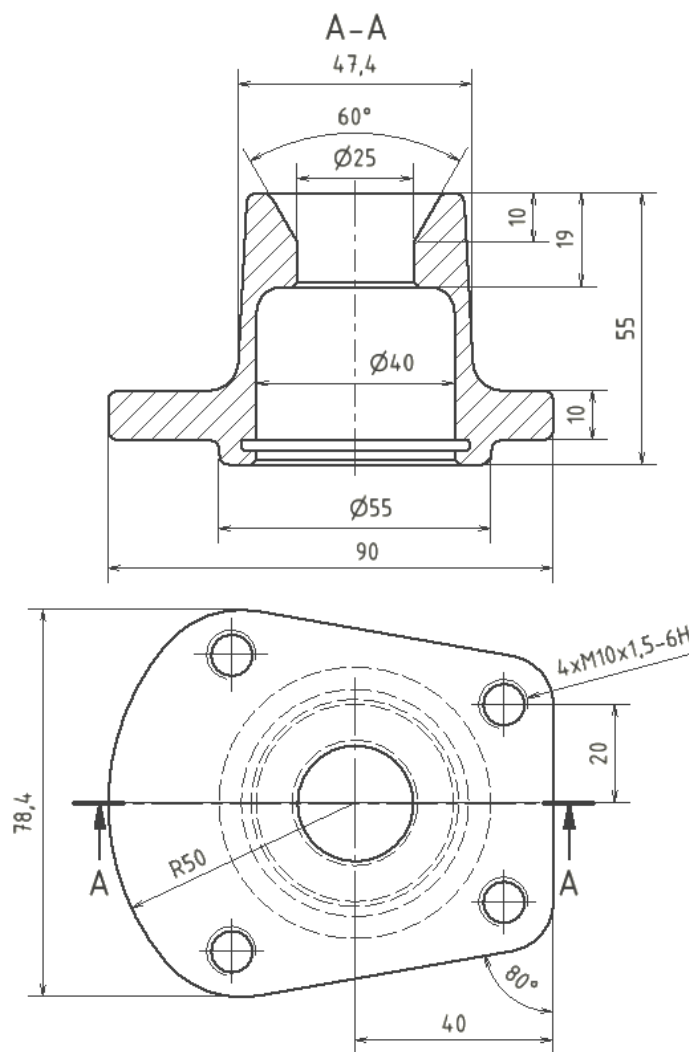
Tepelné zpracování oceli 11 142 (doporučené hodnoty):

- Normalizační žíhání 850 až 880 °C
- Žíhání na měkko 680 až 720 °C
- Teplota kalení – v doporučeném kalicím prostředí (olej nebo voda) 820 až 860 °C
- Teplota popuštění – 540 až 680 °C

Ocel 15 142 se většinou používá pro výrobu nástrojů, které mají vysoké pevnostní požadavky. Je vhodná pro rozměrově velké a důležité součástky jako nápravy motorových vozidel, ozubená kola, převodovky, válcové motory a rybářské náčiní.

Vzhledem k tomu, že nejde o korozivzdornou ocel, bude nutné vyrobenou součást v konečné fázi povrchově upravit. Vhodnou metodou je tvrdé chromování, které zajistí součásti korozivzdornost a také nízký součinitel tření, což je zapotřebí zejména u vnitřních ploch čepu. Tvrdé chromování je charakteristické také vysokou tvrdostí, čímž zlepšuje odolnost vůči mechanickým vlivům na součásti a zároveň prodlužuje její životnost.

Součást se bude vyrábět velkosériově. Předpokládaná roční produkce je 800 000 kusů.



Obr. 4 Výkres součásti

1.1 Variantní řešení výroby [3][6][8]

Pro výrobu zadané součásti lze použít různé technologie, jako například obrábění, svařování, odlévání nebo zápustkové kování. Každá metoda má své výhody a nevýhody, které v konečném výsledku mohou ovlivnit celou produkci, jak z technologického, tak i ekonomického hlediska. Při posuzování nejvhodnější metody se budou brát v úvahu především výsledné mechanické vlastnosti, neboť součást bude značně dynamicky namáhána.

- Obrábění – je proces, při kterém se postupně odebírá materiál z polotovaru, čímž se získá obrobek požadovaných rozměrů a tvaru. V dnešní době je možné obrábět téměř všechny typy materiálů i tvarově složité součásti větších rozměrů. Nelze však opomenout některé nevýhody, které vznikají během procesu obrábění. Jednou z nich je vysoká teplota v místě řezu a deformační zpevnění. Pro



výrobu zadané součásti je obrábění méně vhodnou volbou. S ohledem na tvar a rozměry součástky by obrobený materiál ztratil dostatečnou pevnost narušením průběhu vláken. Aby bylo možné získat požadovaný tvar, muselo by se obrobit velké množství materiálu. Vznikalo by velké množství kovového odpadu ve formě třísek, který je zapotřebí třídit a také někde uskladnit. Vzhledem k sériovosti výroby součásti, by metoda obrábění nebyla efektivní a ekonomicky výhodná.

- Svařování – je metoda, při které dochází k roztavení přídavného materiálu a kovových dílců v místě svařování. Svarek je po zchlazení nerozebíratelný. Velký vliv na kvalitu svaru má vzniklá struktura materiálu v tepelně ovlivněné oblasti. Pro dosažení přijatelné struktury svaru se výchozí polotovar předehřívá na požadovanou hodnotu. Výhodou svařování je širší škála možností při

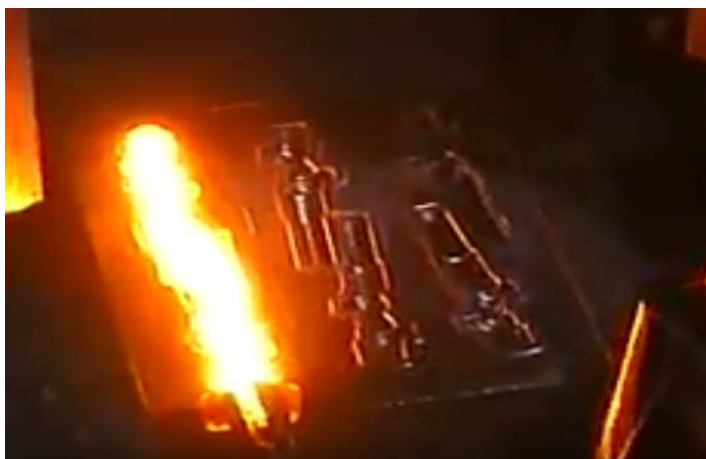


navrhování tvaru, čímž se značně uspoří na její hmotnosti. Svařením dvou dílců lze získat velmi tuhou a pevnou součást. Jednou z nevýhod je vznik vnitřního pnutí a deformace, které způsobují nerovnoměrný ohřev a tuhost materiálu konstrukce. Při velkém vnitřním pnutí je riziko vzniku vnitřních vad, jako například trhliny, které mohou poškodit celou konstrukci součásti. Daná součást bude vyráběna z materiálu, který není možné svařovat. Z hlediska ekonomického by nebylo vhodnou variantou pro výrobu čepu, neboť není efektivní vzhledem k její sériovosti.

- Odlévání – je proces, při kterém se roztavený kov odlévá do formy. Lze jím dosáhnout vysoké kvality povrchu a rozměrových přesností složitě tvarových odlitků. Aby bylo možné odlévat, materiál musí mít takové vlastnosti, které zajistí především dobrou zabíhavost, tečení a vhodnou strukturu odlitku. Během odlévání se lze setkat se vznikem vnitřních vad, které jsou zapříčiněny metalurgickým, technologickým či tepelným zpracováním. Je důležité brát v úvahu také vyšší náklady na zhotovení kovových forem a pořízení strojů, které ovlivňují výslednou cenu produktu. Zvolený materiál nelze odlévat, proto se tato metoda vylučuje z daných možných výrobních technologií vyráběné součásti.



- Zápustkové kování – je objemové tváření za tepla, při kterém se ohřátý polotovár kove v dutině zápustky, která má negativní tvar výkovku. Rozměry dutiny jsou zvětšeny o smrštění materiálu. Při procesu zápustkového kování dochází ke ztuhnutí materiálu a plynulému průběhu vláken, které kopírují tvar výkovku. Součást se tak stává celistvou, pevnou a vysoce odolnou vůči dynamickému i statickému namáhání. Zápustkové kování je výhodné pro sériovou výrobu od malých až po velmi rozměrné součásti, které mohou být i tvarově složitě. Problémem, který nastává při ohřevu tvarově složitých součástí, je vysoké riziko vzniku opalu a okují, které narušují povrch součásti, a je nutné počítat s jejich odstraněním. I přesto je tato technologie oblíbená zejména pro svoji nenáročnost obsluhy stroje a vysokou efektivitu.



Vzhledem k výše popsaným technologiím se nejvhodnější metodou jeví být zápustkové kování, které zachovává mechanické vlastnosti materiálu, plynulý průběh vláken a jejich soudržnost. Jinou ze zmíněných metod nelze použít, neboť se bere také v úvahu zvolený materiál, který lze tvářet za tepla, ale nelze jej svařovat ani odlévat. Zápustkovým kovááním se zajistí poměrně přesné rozměry součásti, přičemž se její výroba doplní dokončovací operací obrábění, kdy se vyfrézují otvory v čepu a vyhladí jeho funkční plochy. Vzhledem k tvarové složitosti a sériovosti byl pro výrobu čepu s přírubou zvolen buchar, který je součástí strojního vybavení firmy.

2 TECHNOLOGIE ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

[1],[2],[4],[7],[8],[9],[10],[11],[12],[21]

Metoda zápusťkového kování se vyznačuje tvářením ohřátého materiálu v dutině zápusťky. Tímto lze dosáhnout velmi přesných hodnot a zajistit nejen požadované mechanické vlastnosti, ale také kvalitu povrchu výkovku. Kování v zápusťce je výhodné zejména při sériové a hromadné výrobě různých velikostí a hmotností výkovků od několika gramů až po několik desítek kilogramů materiálu.

Aby bylo možné kovat materiál, je důležité jej ohřát na optimální teplotu. Nejprve se zahřívají pouze povrchové vrstvy a až po dosažení doporučené teploty zvoleného materiálu se polotovary postupně prohřeje i v jádře. Během ohřevu však může docházet k vnitřnímu pnutí, které způsobuje trhliny či jiné vady na materiálu.

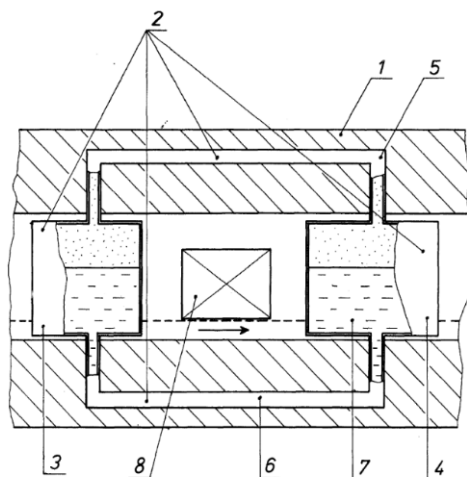
Rychlost ohřevu a teplota závisí na zvoleném materiálu. Polotovary menší velikosti vyrobené z nízkouhlíkové či nízkolegované oceli mají velmi dobrou tepelnou vodivost a vysokou plasticitu, která jim umožňuje přímý ohřev vyšší rychlostí až k horní kovací teplotě. Polotovary z oceli o vyšším obsahu uhlíku, které mají ještě dobrou tepelnou vodivost a plasticitu, se ohřívají dvoustupňově. Sázejí se do pece s nízkou teplotou, která se následně zvýší až k požadovaným hodnotám ohřevu. Zato polotovary z oceli, které obsahují vysoké procento uhlíku, se sázejí do nevyhřáté pece. Postupně se tak navyšuje teplota, aby nedocházelo k přílišnému vnitřnímu pnutí během vzniku teplotního rozdílu mezi povrchem a jádrem materiálu.

Během ohřevu dochází k průvodním jevům, které ovlivňují strukturu a povrch polotovaru.

- propal – při procesu ohřívání a ochlazování dochází k okysličení povrchových vrstev materiálu, jejichž výsledkem jsou okuje. Jejich výskyt na povrchu představuje velký problém při kování, kdy se zakovávají do materiálu a tím zhoršují kvalitu povrchu výkovku. Tvorbu okují ovlivňuje zejména chemické složení materiálu. Oceli s vysokým procentem uhlíku mají rychlost oxidace mnohem menší než oceli nízkouhlíkové. Stejně působí některé prvky (hliník, chróm, titan), které jsou obsaženy v materiálu.
- oduhličení – při vysoké teplotě kolem 800°C dochází ke ztrátě uhlíku v povrchových vrstvách, což způsobuje snížení tvrdosti materiálu. K největšímu oduhličení dochází zejména při nízkých teplotách, například během dokončovacích operací jako je třeba kalibrování.
- přehřátí – způsobuje zhrubnutí zrna austenitu. V některých případech je možné jej zjemnit tepelným zpracováním, například normalizačním žíháním nebo zušlechťením.
- spálení – znehodnocenou ocel již není možné opravit z důvodu vzniklé nesoudržnosti materiálu.

K ohřevu materiálu pro zápusťkové kování lze použít různé typy pecí. Rozlišují se podle paliva, které může být kapalné, pevné nebo plynné, a podle způsobu ohřívání na komorové a průběžné. Dále se dělí dle vkládání materiálu do pecí, na strkací, otočné či krokové. Výběr pece závisí na technologii a charakteru výroby. Vzhledem k dané součástce a její sériovosti je nejvhodnější průběžná pec, viz obr. 5, která zajistí nepřetržitý a plynulý ohřev s efektivnějším využitím tepla. Ohřev je v peci prováděn tak, aby se polovar prohřál v celém svém průřezu.

Způsobů ohřívání materiálu je několik. Jedním z nich je ohřev elektrickým proudem, který je pro velkosériové výroby velmi efektivní a hospodárný. Jeho předností je ohřev bez tvorby okují na povrchu polotovaru, což uspoří čas pro jejich odstranění a zároveň tím prodlužuje životnost zápustek. Další výhodou je rovnoměrné



Obr. 5 Průběžná pec [32]

1. Průběžná pec
2. Cirkulační okruh
3. Kondenzátor
4. Kapalinové prostory s výparníkem
- 5., 6. Spojovací potrubí
7. Cirkulační okruh naplněný teplonosnou látkou

ohřívání a dodržení přesně stanovené horní kovací teploty. Vzhledem k velikosti a tvaru součásti je možné využít pouze indukčního ohřevu, neboť je ekonomičtější a praktičtější než odporový ohřev. Indukční ohřev probíhá tak, že střídavý proud, který prochází cívkou, vytvoří kolem sebe magnetické pole. Jakmile je do něho vložen tyčový materiál, indukují se v něm vířivé proudy, které způsobí ohřev vloženého předmětu. Nejprve se zahřívá pouze povrch polotovaru, až při překročení Curieho bodu dochází ke zvýšení měrného odporu a vířivé proudy pronikají hlouběji do materiálu. Velikost frekvence dokáže ovlivnit jak spotřebu proudu, tak i dobu ohřevu. Pro menší polotovary je výhodnější používat frekvence vyšší než je tomu u větších polotovarů. Správná frekvence se určuje dle tab. 3 s doporučenými hodnotami a pro její stanovení se používá následujícího vztahu:

$$f = \frac{3000}{d^2} \quad (2.1)$$

kde: f – frekvence [Hz]

d – průměr ohřívaného polotovaru [cm]

Tab. 3 Hloubka pronikání proudu – indukční ohřev[1]

Kování probíhá nejlépe při nejvyšších dovolených teplotách. Ohřátý materiál je lépe tváritelný a vznik deformačního odporu je minimální. Vzhledem k výsledným vlastnostem materiálu by se teplota měla udržet v rozsahu doporučených kovacích teplot. Příliš vysoké teploty u oceli mohou způsobovat hrubnutí zrna a naopak při nízkých teplotách může docházet k trhlinám a jiným nepřipustným vadám. Aby bylo dosaženo požadovaného výkovku, je důležité kontrolovat kovací teploty především při vysokých hodnotách, které mohou ovlivnit strukturu materiálu součástí. V případě zhrubnutí zrna se doporučuje tepelné zpracování, které zjemní strukturu materiálu.

Na přesnost zápusťkového kování působí několik vlivů, jimiž jsou nepřesnost při výrobě zápusťky, ohřev materiálu, opotřebení zápusťky jejím používáním, případně deformace tvaru dutiny zápusťky při kování aj. Při výrobě zápusťek je nutné dodržovat určité tolerance rozměrů pro obrábění.

Kmitočet proudu [Hz]	Hloubka pronikání proudu [mm]	
	pod Curieho bodem	nad Curieho bodem
50	12,7	66
1000	3,2	16,5
2500	1,5	9,9
8000	0,8	5,1

Dále je třeba brát v úvahu tepelná roztažnost kovu při jeho ohřívání a následném kování. Rozměry zápustky se proto volí větší dle stanoveného vzorce:

$$\Delta l = l_0 \chi (t_1 - t_0), \quad (2.2)$$

kde: Δl - zvětšená délka výkovku [mm]

l_0 - délka výkovku při běžné pokojové teplotě 20°C [mm]

χ - střední koeficient tepelné roztažnosti [-]

t_1 - dokovací teplota [°C]

t_0 - přibližná pokojová teplota 20°C

Pro dosažení požadovaných rozměrů výkovku, je důležité dodržovat stejnou dokovací teplotu, pro kterou byly vypočítány přesné rozměry dutiny a zkonstruována zápustka dle uvažovaného smrštění materiálu. Dalším činitelem nepřesnosti výkovku a také asi největším problémem

při kování je opotřebení příp. deformace dutiny zápustky. K největšímu opotřebení v dutině dochází na místech, kde se přemisťuje roztavený kov. Jsou to rovné plochy, přechody do výronkové drážky nebo přechod do žeber a různých výstupků.

2.1 Návrh výkovku [1],[8],[9],[10],[11]

Výkovek je konstruován podle výkresové dokumentace hotové součásti. Dle technologických a ekonomických hledisek se volí nejvýhodnější tvar výkovku. S tím souvisí i volba průběhu vláken, správná poloha dělicí roviny a případné úpravy rozměrů a tvarů výkovku pomocí přídavek.

Dělicí rovina odděluje horní a spodní část zápustky a tím také usnadňuje vyjmutí výkovku z její dutiny. Správně zvolená dělicí rovina sníží spotřebu materiálu a usnadní tok materiálu do dutiny. Při jejím navrhování se dodržují určité zásady. Mezi ně patří

- umístění dělicí roviny je zvoleno tak, aby docházelo k pěchování
- výstupky nebo vyšší části výkovku jsou umístěny do horní zápustky, kde dochází k lepšímu tečení ohřátého kovu.
- poloha dělicí roviny musí být zvolena tak, aby bylo možné ostřížení výronku
- blána dutiny nesmí být totožná s dělicí rovinou

Hotové součásti, pro jejichž výrobu má výkovek být polotovarem, se často vyznačují celou řadou tvarových složitostí a velmi přesných ploch. Při přiměřených finančních nákladech jich pomocí zápustkového kování není možné dosáhnout. Proto je výkovek opatřen mezními úchytkami, přídávky na obrábění, technologickými přídávky, zaoblením hran a rohů, blan v předkovaných dutinách a úkosa, které zjednoduší tvar a usnadní výrobu součásti.

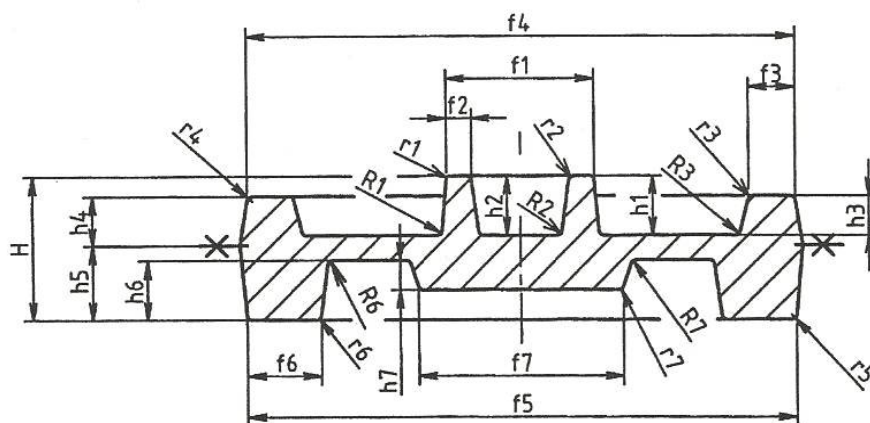
- mezní úchytky rozměrů – jejich určení se posuzuje dle hmotnosti výkovku, tvaru dělicí plochy (tvar přímý nebo lomený), typu oceli (obtížnost kování), ukazatele členitosti tvaru a rozměry (délka, šířka, výška, tloušťka).
- přídávky na obrábění – se volí pro všechny rozměry, které mají být obrobene. Činitelé, kteří ovlivňují velikost přídavek na obrábění, jsou vzniklé povrchové vady a oduhličení. Pro umožnění jejich úplného odstranění se určí přídávky dle největšího rozměru výkovku. Největší rozměr u nerotační součástí se definuje pomocí střední hodnoty, která se stanoví ze součtu největší délky a šířky hotového výrobku. Z tab. 4 se zvolí vhodné přídávky na obrábění pro danou součást.

Pro snadné kování a vyjmutí výkovku ze zápustky je součást opatřena technologickými přídávky.

Tab. 4 Přídávky na obrábění [11]

Největší průměr, nebo střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška součásti			Rozměry jsou uvedeny v mm			
		přes	25	40	63	100	160	250
		Do 25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Přídávky na obrábění						
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0		
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5

- přídávky technologické – na výkovcích zhotovovaných zápustkovým kováním se lze setkat s celou řadou technologických přídavek, které upravují tvar součásti tak, aby bylo možné kování v zápustce. Typ a velikost přídavek závisí na charakteru kovacích operací, jejich sledu a tvaru vyráběné součásti. Mezi technologické přídávky patří také zaoblení rohů a hran, zesílení tloušťky tenkých stěn a blány, které zpevní dutinu, případně otvor v součásti.
 - úkosity – často používaným přídávkem jsou boční úkosity, které zaručí dobré zatečení kovu a snadné vyjmutí hotového výkovku ze zápustky. Jejich velikost se určí dle tvaru výkovku a typu kovacího stroje. Boční úkosity se pohybují mezi 3° až 11° , přičemž vnitřní plochy mají větší úkosity než plochy vnější.
 - zaoblení rohů a hran – měl by být dostatečně velký poloměr, který sníží opotřebení rohů a hran zápustky a vznik trhlin v dutinách. Zaoblení se určuje pomocí poměru výšky výkovku od označené dělicí roviny, hloubky dutiny h , vůči šířce zvolené části výkovku f , viz obr. 6.



Obr. 6 Zaoblení hran r a přechodů R [1]

Výsledné hodnoty poměru h/f příslušných výšek se dále použijí v tab. 5, která zobrazuje minimální zaoblení přechodů R a hran r.

Tab. 5 Zaoblení přechodů R a hran r [11]

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechod při poměru					
Přes	do	h/f do 2		h/f přes 2 do 4		h/f přes 4	
		r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100

- blána–používá se v předkovaných dutinách. Tloušťka blány se stanovuje z rovnice:

$$s = 0,45\sqrt{d - 0,25h - 5} + 0,6\sqrt{h}$$

kde: s – tloušťka blány [mm] (2.3)

d – průměr předkovací dutiny [mm]

h – hloubka předkované dutiny [mm]

- tolerance zápusťkových výkovků – norma ČSN 42 0277 stanovuje tolerance dle tvarové složitosti součástí. Rozměry výkovků jsou nejvíce ovlivněny opotřebením zápusťky, která v průběhu používání ztrácí požadované rozměry a tváří výkovky s nepřesnostmi. Proto se doporučuje ještě dodatečné kalibrování součástí, aby se zaručila dostatečná rozměrová přesnost.

Při navrhování výkovku je taktéž důležité určit výronek, propal, polotovar, jeho dělení a další úkony ovlivňující kvalitu výrobku. Objem polotovaru, z kterého bude výkovek kován, vychází z teoretického objemu výkovku a uvažovaných ztrát. Teoretický objem polotovaru je stanoven následujícím vzorcem:

$$V_{polot} = V_{výk} + V_{ztrát} \quad (2.4)$$

kde: V_{polot} – teoretický objem polotovaru

$V_{výk}$ – teoretický objem výkovku

$V_{ztrát}$ – objem ztrát

Uvažovaný objem ztrát se stanoví tímto vzorcem

$$V_{ztrát} = V_{opalu} + V_{výronku} \quad (2.5)$$

kde: V_{opalu} – (2,5-3%) $V_{výkovku}$ pro plynový ohřev

V_{opalu} – (1-1,5%) $V_{výkovku}$ pro el. odporový ohřev

V_{opalu} – (0,5-1%) $V_{výkovku}$ pro el. indukční ohřev

Objem výronku se spočítá dle uvedeného vztahu

$$V_{výronku} = S_{výronku} \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot D_v \quad (2.6)$$

kde: $V_{výronku}$ – objem výronku [mm³]

$S_{výronku}$ – obsah výronkové drážky [mm²]

D_v – největší průměr rotačního výkovku [mm]

Nezbytnou součástí výpočtu rozměru polotovaru je jeho kontrola štíhlosti. Ta se vypočítá následovně pomocí vztahu:

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 1,5 \div 2,8 \quad (2.7)$$

kde: λ – volí se co největší, důvodem je lepší dělení materiálu

L_0 – délka polotovaru [mm]

D_0 – průměr uvažované tyče [mm]

Průměr tyče, sochoru se vypočítá dle vztahu:

$$D_0 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}} \quad (2.8)$$

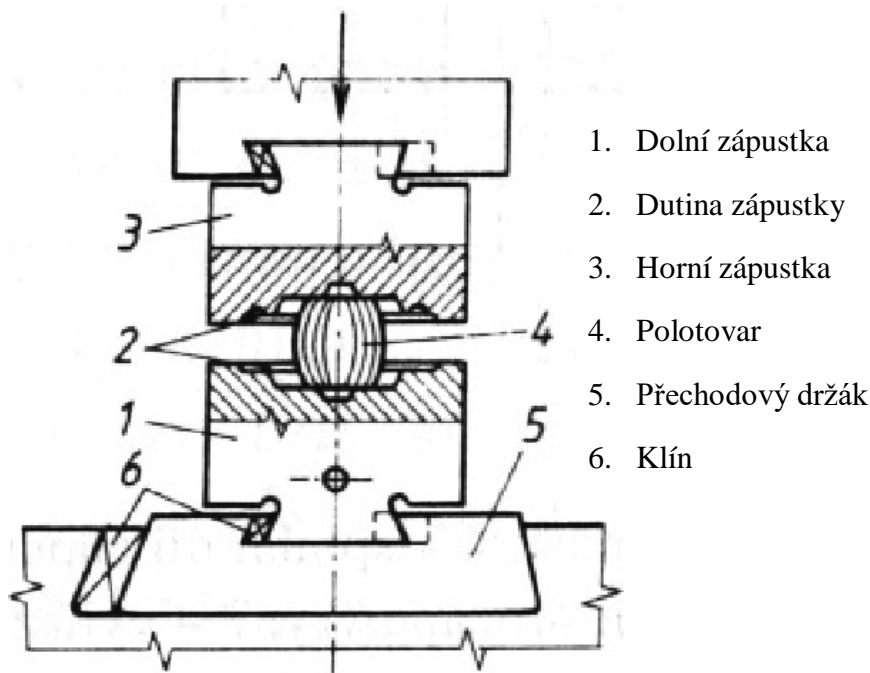
Délka polotovaru se vypočítá dle vztahu

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D^2} \quad (2.9)$$

Poměr mezi délkou a průměrem polotovaru by měl spadat do intervalu $1,5 \div 2,8$. Pokud by se hodnota pohybovala mimo daný rozsah, hrozila by ztráta stability polotovaru.

2.2 Nástroje [1],[4],[9],[10],[11]

Zápustkové kování je tváření ohřátého materiálu v nástroji – zápustce. Nástroj je tvořen dvěma díly, horní a spodní zápustkou, která je celistvá nebo vložkovaná. Vložky v zápustce se upevňují za pomoci klínů nebo se zapustí za tepla do upínací části nástroje. Zápustka se upíná na rybinu, pomocí klínů, k beranu a šabotě stroje. Dutiny se třídí dle použití na dokončovací, přípravné a odsekávací. Pro kování složitých výkovků se uplatňuje zejména dokončovací předkovací dutina, ve které se kove polotovar do tvaru podobného hotové součásti. Proto nemá výronkovou drážku ani ostré hrany. Přímé zhotovení výkovku se provádí v dokončovací kovací dutině, viz obr.7, více úderů s rostoucí rázovou energií. Počet úderů závisí na tvarové složitosti součásti, předkovku a rázové energii stroje. Dokončovací dutiny zápustky mají stejný tvar jako výkovek, avšak jejich rozměry se liší o smrštění (1 % objemu materiálu), ke kterému dochází při ochlazování výkovku. Poloha dokončovací dutiny se volí dle určitých zásad. Obtížné tvary jakými jsou



Obr. 7 Dokončovací dutina

žebra, čepy nebo vysoké profily se umísťují do horní zápustky. Za další je důležité jejich přesné umístění do středu zápustky, což se provádí především u jednodutinových nástrojů. Dalším typem jsou dutiny přípravné, které slouží k předkování a přichystání polotovaru do takového tvaru, který bude možné dokovat na hotový výkovek. Liší se dle procesu kování na prodlužovací, tvarovací, ohýbací a dutiny pro otáčivé kování osově souměrných součástí. Přípravné kování je bez tvorby výronku, neboť se polotovar předkovává do tvaru soudku. Posledním typem je dutina odsekávací, která slouží k oddělování výkovků od tyče. Většinou jsou umístěny v rohu zápustky.

Nástroj pro zápustkové kování se vyrábí z materiálu, který musí splňovat vysokou tvrdost a dostatečnou houževnatost, aby byl materiál tvarově stálý a měl poměrně vysokou mez kluzu. Dále je podstatná vysoká pevnost při vyšších teplotách do 650 °C, vysoká otěruvzdornost a dobrá obrobiteľnosť. Správna voľba materiálu závisí taktéž na materiálu výkovku, tvaru dutiny a jakým strojem se bude kovat. Na bucharu se kove rázem, čímž je zápustka mechanicky namáhána. Oproti tomu kování na lisu je nástroj více ovlivněn tepelným namáháním. Nejpoužívanější materiál pro výrobu zápustek jsou chromniklové oceli, například 19 552, 19 553, 19 662, které jsou vhodné pro zápustky středních a větších velikostí při kování na bucharu i lisu. Nelze je však popouštět za vysokých teplot, proto se nehodí na výkovky se složitým tvarem. Odolnost proti opotřebení prokazují oceli wolframové (19 721), které jsou vhodné pro tvarově složitě a malé výkovky. Vyrábí se z nich i vložky k zápustkám. Nevýhoda těchto ocelí se ukazuje při kování na bucharu, kde dochází k teplotním rázům a způsobuje tím jejich praskání.

Tab. 6 Mezní úchytky rozměrů dokončovací dutiny [10]

Jmenovité rozměry v mm		Provedení obvyklé				Provedení obvyklé			
		Mezní úchytky				Mezní úchytky			
		⊥				⊥			
		+	−	+	−	+	−	+	−
0	20	0,1	0,05	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03
21	80	0,2	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05	0,05	0,03
81	160	0,3	0,15	0,15	0,08	0,15	0,08	0,08	0,04
161	260	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,05
261	360	0,5	0,25	0,25	0,13	0,25	0,13	-	-
361	500	0,6	0,3	0,3	0,15	-	-	-	-
501	750	0,7	0,35	-	-	-	-	-	-
751	1000	0,8	0,4	-	-	-	-	-	-

⊥ kolmo ke směru rázu, − ve směru rázu

Důležitým faktorem, který ovlivňuje tečení kovu, je opracování povrchu dutiny zápustky. Každá část má dle normy stanovenou drsnost povrchu. Předkovací a dokončovací dutina by měla mít drsnost v rozsahu Ra 0,8 ÷ 3,2. Můstek, který spojuje kovací dutinu se zásobníkem výronkové drážky by měl splňovat drsnost Ra 0,8 ÷ 1,6. Pro dobré a plynulé tečení se všechny jejich plochy leští.

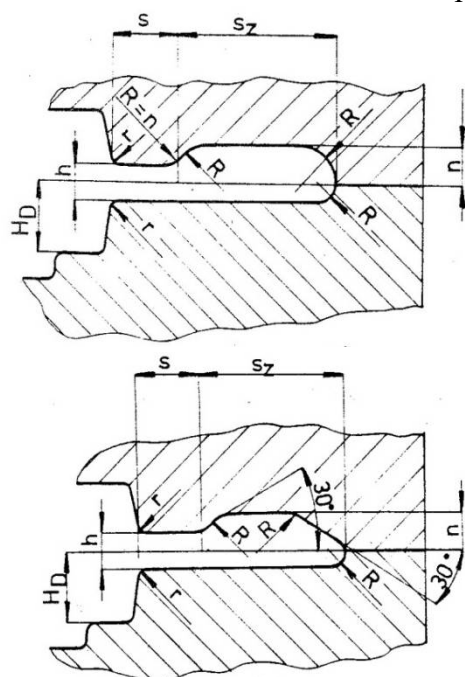
Rozměry dutiny zápustky mají normou předepsány i mezní úchytky, které jsou uvedeny v tab. 6, načež u předkovací dutiny se stanoví zdvojnásobením uvedené hodnoty.

2.2.1 Výronková drážka [4],[10]

Kolem obvodu dutiny je v dělicí rovině tvořena výronková drážka, která zachycuje přebytečný kov a zároveň reguluje tlak v dutině. Zaručí se tím dobré zatečení materiálu a umožní se dosednutí obou zápustek, čímž se dodrží požadované rozměry výkovku.

Výronková drážka se skládá z můstku a zásobníku, který je obvykle jednostranný, viz obr. 8, většinou se umísťují do horní části zápustky. Pokud je předpokladem zvýšení přebytku kovu v dané oblasti dutiny, volí se oboustranný zásobník.

Tab. 7 Rozměry výronkové drážky [10]



Obr. 8 Typy výronkových drážek [4]

Číslo	h [mm]	n [mm]	Pěchování		
			s [mm]	sz [mm]	$S_{výř}$ [cm ²]
1	0,6	3	6	18	0,52
2	0,8	3	6	20	0,69
3	1,0	3	7	22	0,80
4	1,6	3,5	8	22	1,02
5	2,0	4	9	25	1,36
6	3,0	5	10	28	2,01
7	4,0	6	11	30	2,68
8	5,0	7	12	32	3,43

Rozměry výronku se určují dle uvedeného vztahu:

$$h = (0,012 \div 0,015) \sqrt{S_D} \quad (2.10)$$

kde: h – výška můstku výronku [mm]
 S_D – plocha průřezu výkovku [mm²]

Pro výkovky větších rozměrů se volí hodnota $h = 0,012$ a pro výkovky menších rozměrů zase hodnota $h = 0,015$. Podle vypočítané výšky můstku se určí ostatní rozměry výronku z tab.7.

Poloměr přechodu má povolený maximální rozměr z důvodu regulace tlaku v dutině. Velikost výronkové drážky, zejména můstek ovlivňuje tečení materiálu do dutiny. Poloměr přechodu r , který je součástí můstku se musí vypočítat dle vztahu:

$$r = \frac{\sqrt{S_D}}{200} \cdot 0,04 H_D \quad (2.11)$$

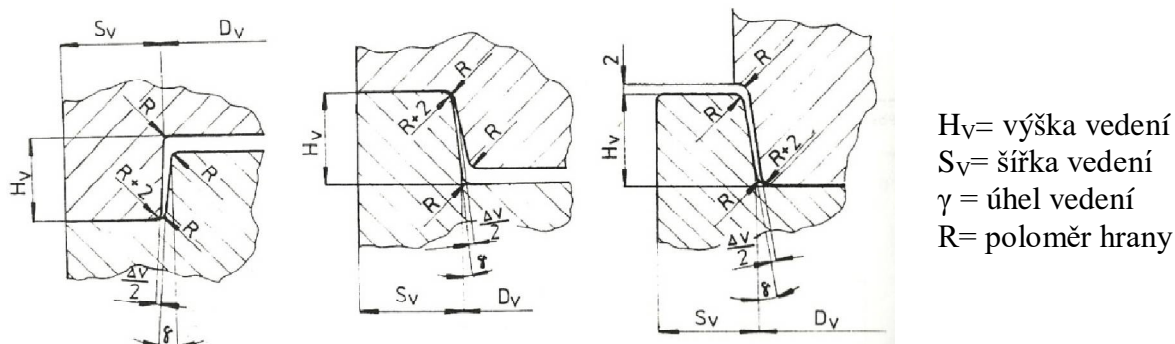
kde: S_D – průřez plochy výkovku kolmo k rázu [mm²]
 H_D – hloubka dutiny

2.2.2 Vedení [1],[4],[10]

Během kování může dojít k přesazení výkovku a snížení přesnosti výroby. K tomu dochází hlavně u protiběžných bucharů, kde se zápustky pohybují proti sobě. Vedení je zajišťováno

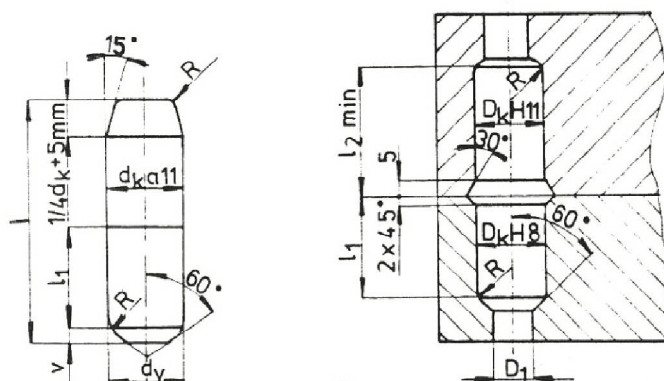
zejména u jednodutinových zápustek, kde není zaručené středění beranu. Pro různé tvary výkovků se využívá různé vedení.

- Vedení kruhové – většinou se používají u kruhových nebo čtvercových zápustek pro kování výkovků rotačního tvaru. Jejich výška se určuje dle velikosti bucharu a tvaru výkovku. Šířka vedení u čtvercových zápustek je totožná s výškou vedení, avšak u kruhových zápustek je 1,5x větší. Úhel vedení se pohybuje mezi $3^\circ \div 5^\circ$ a zaoblení hran je v rozmezí $4 \div 8$ mm. Kruhové vedení různých tvarů a rozměrů je znázorněno na obr. 9.



Obr. 9 Tvary a rozměry vedení [4]

- Vedení podélné, příčné a křížové – nejběžněji se používá při kování výkovků v obdélníkových zápustkách. Pokud dochází k přesazení v podélném směru, použije se příčné vedení. Při přesazení v příčném směru se potom použije podélné vedení. Křížové slouží k obousměrnému vymezení přesazení. Vzhledem k jejich náročné výrobě a spotřebě materiálu na zápustku se tolik nepoužívají. Dokážou však zajistit velmi dobré vedení a přesnost kování, proto jsou pro svoji nákladnost vhodné při sériové či hromadné výrobě.

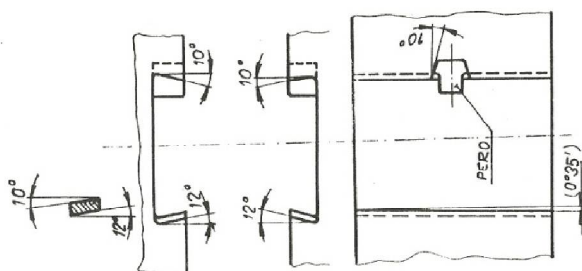


Obr. 10 Vodicí kolík [4]

- Vodicí kolíky – často se používají u podélných zápustek. Dva až čtyři kolíky se umísťují úhlopříčně do rohů dolní zápustky. Minimální vzdálenost od okraje se vyjádří ze vztahu:

$$a = \frac{5}{6} d_k + 10 [mm] \quad (2.12)$$

Střed jejich spojnice nebo průsečík musí ležet ve středu



dutiny zápustky. Vodicí kolíky mají normalizované průměry 12 až 135 mm. Jejich tvar a rozměry jsou zobrazeny na obr. 10.

2.2.3 Upínání [1],[4],[10]

Zápustky se upínají na buchar za kořen zápustky, tzv. rybiny do rybinovité drážky na beranu nebo

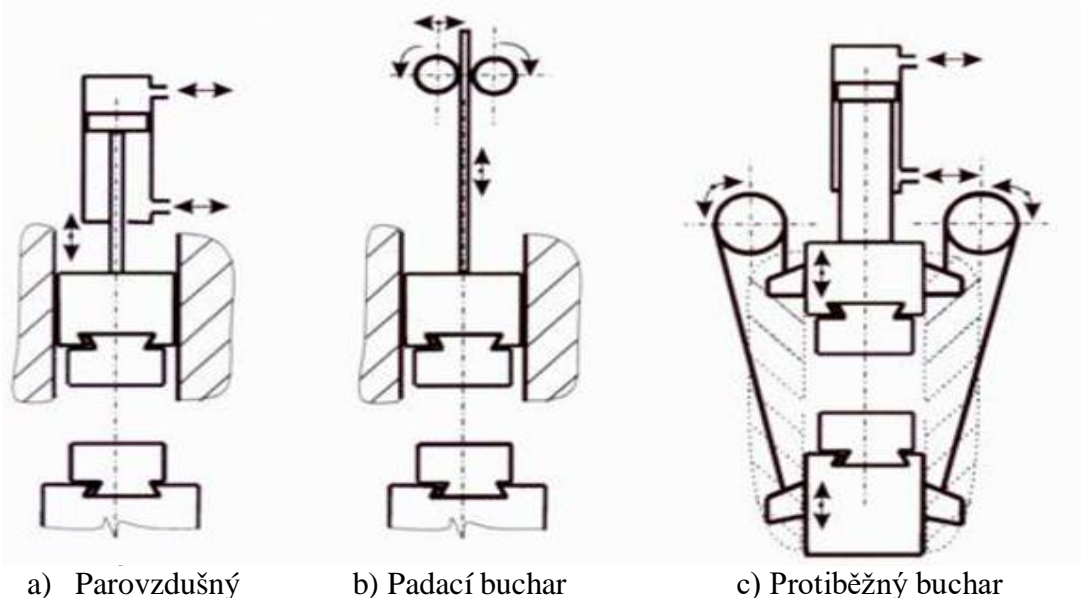
šabotě. Upnutí zápustky se upevní klínem, který je po délce zkosený o $0^{\circ}35'$ a jeho šikmé stěny mají úkos 10° a 12° .

Z druhé strany zápustky se ještě zajistí perem, které se vkládá kolmo na rybinu do drážky v boční straně beranu. Schéma upínání je zobrazeno na obr. 11.

Pokud zápustka nemá jakékoliv vedení, které by zajistilo její středění, opracují se dvě na sebe kolmé plochy na bočních stranách. Hloubka ploch bývá kolem 5 mm a výška 50 až 60 mm. Vzniklé plochy tvoří jakýsi kontrolní roh, který slouží k odměřování polohy dutiny, kótování, středění a upínání zápustek.

2.3 Stroje [1],[7]

Pro zápustkové kování se používají buchary, které se dělí na padací a parovzdušné (protiběžné, dvojčinné).



Obr. 12 Druhy strojů pro zápustkové kování [33]

Buchar parovzdušný dvojčinný, viz obr. 12a, je vhodný spíše pro volné kování, jelikož při kování v zápustce nedosahuje takového výkonu a počet úderů se snižuje.

Padací buchar pracuje na principu volného pádu beranu, který je možné zvedat několika způsoby. Buď za pomoci tlaku plynného média, nebo pomocí tření mezi pevnou a přítlačnou kladkou. Padací buchary se častěji používají v kovárnách, protože mají levnější provoz. Dělí se do tří skupin: prknové, lanové a řetězové. Buchary využívající řetěz k pohybu beranu je nejrychlejší, lze jej automatizovat a jeho pracovní výkon se dá porovnat s parovzdušnými dvojčinnými buchary. Schéma padacího bucharu je zobrazeno na obr. 12b.

Buchar protiběžný se používá zejména při výrobě rozměrově větších výkovků. Stroj pracuje na principu dvou proti sobě pohybujících se beranů, přičemž je poháněn pouze horní beran to buď hydraulicky, nebo pneumaticky. Schéma protiběžného bucharu je zobrazeno na obr. 12c. Během kování se kinetická energie beranu přemění v přetvárnou práci, aniž by vznikla jakákoliv ztráta na energii. Jelikož se jedná o velmi velké rázy, je nutné přizpůsobit celému procesu také zápustky, které se vyrábějí vcelku nebo jsou vložkované. Výhodou těchto strojů je vysoká tvářecí rychlost i energie, která zajistí přesné kování rozměrných výkovků. Protiběžné buchary nejsou náročné na údržbu.

2.3.1 Potřebná práce [4],[10]

Největší odpor materiálu vzniká při posledním úderu bucharu, kdy je zapotřebí nejvíce tvářecí energie. Proto se vypočítává potřebná práce, dle které se určí velikost bucharu. Vztah pro výpočet potřebné práce pro rotační výkovek:

$$A = 18(1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot (1,1 + \frac{2}{D_D})^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D) \cdot D_D \cdot \sigma_3 \quad (2.13)$$

kde: A – práce posledního úderu pro rotační výkovek [J]

D_D – průměr výkovku [cm]

σ_3 – pevnost materiálu za kovací teploty [MPa]

Pro výpočet potřebné práce pro nerotační součást je zapotřebí spočítat nejprve redukovaný průměr výkovku D_{DR} , který se dosadí na místo běžného průměru D_D .

$$D_{DR} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D} \quad (2.14)$$

kde: D_{DR} – průměr výkovku redukovaný [cm]

F_D – průmět plochy výkovku v ploše kolmé ke směru rázu [cm²]

Vypočtená práce s redukovaným průměrem se dosadí do rovnice určující potřebnou práci pro nerotační výkovek:

$$A_n = A(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_D}{B_{Dst\check{r}}}}) \quad (2.15)$$

kde: A_n – práce posledního úderu pro nerotační výkovek [J]

L_D – délka výkovku [cm]

$B_{Dst\check{r}}$ – šířka nerotačního výkovku [cm]

Šířka nerotačního výkovku se vypočítá dle vztahu:

$$B_{Dst\check{r}} = \frac{F_D}{L_D} \quad (2.16)$$

Dále je nutné spočítat hmotnost beranu bucharu. Vztahy jsou určeny pro rotační i nerotační výkovky. Hmotnost jednočinného bucharu se spočítá následovně

$$m = \frac{A}{1,1} \text{ pro jednočinný buchar} \quad (2.17)$$

Pro výpočet hmotnosti dvojčinného bucharu se musí stanovit koeficient C_0 (1,8 až 2,8), který se přesně určí z pasportu a stavu stroje.

$$m = \frac{A}{C_0} \quad (2.18)$$

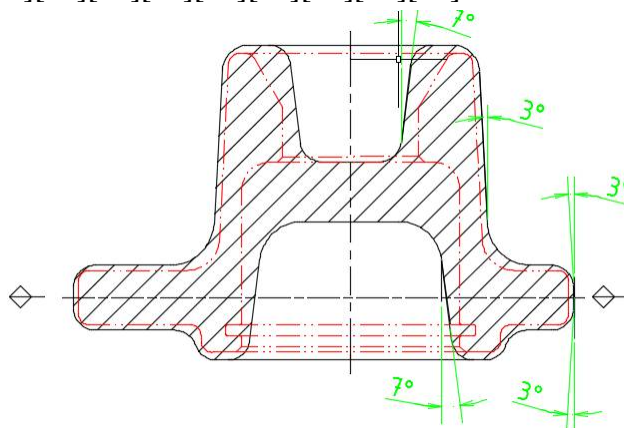
kde: m – hmotnost beranu bucharu [kg]

C_0 – koeficient (1,8 až 2,8) [-]

Podle výsledné hodnoty se zvolí vhodná velikost bucharu. Neměl by být větší než je spočtený výsledek, neboť by měl negativní dopad na životnost zápusťek i samotného stroje. Pokud by byl zvolen buchar menší, než je výsledná hodnota, způsobilo by to ekonomické ztráty během výroby a vzhledem k tvrdým rázům by se stal i provozně nebezpečný.

3 NÁVRH VÝROBY [1][4][7][9][10][11][14][15][16][17][18][28][29]

Výkovek se nejprve zařadí dle tvaru složitosti a dále se volí typ stroje, na kterém se bude výkovek vyrábět. Aby bylo možné provést kování, řeší se technologické parametry výkovku (přidavky na obrábění, technologické přidavky), které se použijí ve výkresu při jeho navrhování. Důležitou součástí výkovku je výronková drážka, která má přesně vypočítané rozměry a tvar dle typu stroje.



Obr. 13 Návrh výkovku

Jelikož se kove v zápustce, je nutné vypočítat přesné rozměry výchozího polotovaru. Vzhledem k předešlé studii zadané součásti byl zvolen již výše zmíněný buchar. Proto se stanovuje potřebná práce, podle které se určí tvářecí stroj s požadovanými parametry. Po kování je zapotřebí ostříhnout výronek a děrovat blánu v jedné operaci, proto se vypočítá stříhací síla a zvolí se vhodný stříhací stroj.

- dělicí rovina – byla zvolena v rovině příruby kolmo k rázu. Z teoretického hlediska by výkovek měl být vyráběn delším výstupkem nahoru. Přikování zadané součásti je však lepší výkovek otočit delší výstupkem dolů, aby se předešlo přesazení polotovaru.
- zařazení dle složitosti tvaru – rozřídění se provádí podle normy ČSN 42 9030 pomocí čísel, která jednotlivě popisují tvar součástí. Označení výkovku je 7734.3
 - tvarový druh – 7 – výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
 - tvarová třída – 7 – kombinované
 - tvarová skupina – 3 – výkovky s dělicí plochou kolmo na hlavní osu
 - tvarová podskupina – 4 – $F:F_1(8-H>B, B>2B_1)$
 - technologické hledisko – 3 – výkovek s dělicí plochou kolmo na hlavní osu, souměrné
- typ stroje – vzhledem k rozměrům, tvaru součásti a její sériovosti se bude kovat na bucharu.
- technologické parametry – upravují tvar a rozměry výkovku do vyhovující podoby, která zajistí kvalitní výrobu součástí. Mezi parametry patří přidavky na obrábění a technologické přidavky, které se určují dle normy ČSN 42 9030.
 - Přidavky na obrábění – volí se z tab. 2. Střední hodnota sečtené největší délky a šířky výrobku je 84,2 mm a největší výška je 55 mm. Pro dané rozměry byl zvolen přírůstek na obrábění ploch 2,5 mm.
 - Mezní úchytky – určují se dle rozměrů výkovku, tvaru a umístění dělicí roviny. Od sebe se liší rozměry ve směru rovnoběžně s rázem a ve směru kolmo k rázu. Pro vnější rozměry platí určené mezní úchytky, ovšem pro vnitřní rozměry se jejich hodnoty obrací.
 - ⊥ $IT 5^{+1,1}_{-0,6}$ Celková tolerance: 1,7
 - || $IT 6^{+1,8}_{-0,8}$ Celková tolerance: 2,6
 - Úkopy – pro výkovky vyráběné v zápustce pomocí bucharu se běžně používají vnitřní úkopy o 7 ° a vnější úkopy o 3 °, viz obr.13.

- Tloušťka blány – určuje se dle tabulky pomocí největšího rozměru výkovku ve směru kolmém k rázu, což je 90 mm, a největší výšky 55 mm. Nejmenší tloušťka blány je v daném případě 11 mm. Tvar blány se určí dle vztahu:

$$(d - 1,25 R) \geq 27 \quad (3.1)$$

$$(22 - 1,25 \cdot 4) = 17 \text{ mm}$$

Tvar blány bude běžný bez úkosu.

- Poloměry – vnitřní $R 2^{+1,0}_{-0,5}$ $R 4^{+1,0}_{-2,0}$
vnější $R 4^{+2,0}_{-1,0}$ $R 5^{+1,25}_{-2,0}$, $R 8^{+2,0}_{-4,0}$

- Hodnota dovoleného sestřižení a otřepu: $p, g \leq 0,6 \text{ mm}$

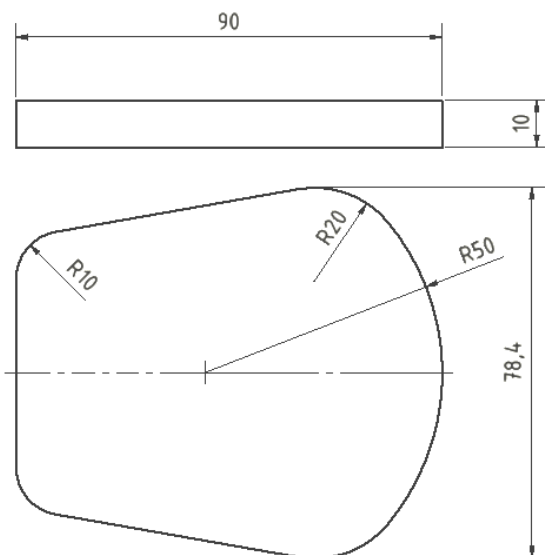
Tab. 8 Vlastnosti výkovku

Hmotnost	0,604 kg
Povrch	26 687,796 mm ²
Objem	76 969,809 mm ³

Obecné vlastnosti výkovku jako je hmotnost, povrch a objem byly vypočítány pomocí programu Autodesk Inventor 2015. Hodnoty jsou zobrazeny v tab. 8. Pro jejich stanovení byla zadána ocel kovaná o měrné hustotě 7,850 g/cm³ při vysoké požadované přesnosti.

3.1 Tvar a rozměry výronkové drážky [1][10][28]

Vzhledem ke zvolenému bucharu byla vybrána uzavřená výronková drážka. Pro určení její velikosti je nutné spočítat plochu průřezu do roviny kolmé ke směru rázu. Výsledná hodnota plochy byla vypočítána z objemu, viz tab. 9, který byl určen pomocí Autodesk Inventoru 2015. Plocha průřezu je znázorněna na obr. 13.



Obr. 14 Plocha průřezu

Tab. 9 Objem průřezu

Hmotnost	0,463 kg
Povrch	14 629,067 mm ²
Objem	58964,276 mm ³

$$V = 58964,276 \text{ mm}^3$$

$$h = 10 \text{ mm}$$

Vztah pro výpočet plochy průřezu:

$$S_D = \frac{V}{h} = \frac{58964,276}{10} = 5896,428 \text{ mm}^2$$

$$\text{kde: } S_D - \text{plocha průřezu} \quad (3.2)$$

$$V - \text{objem tělesa}$$

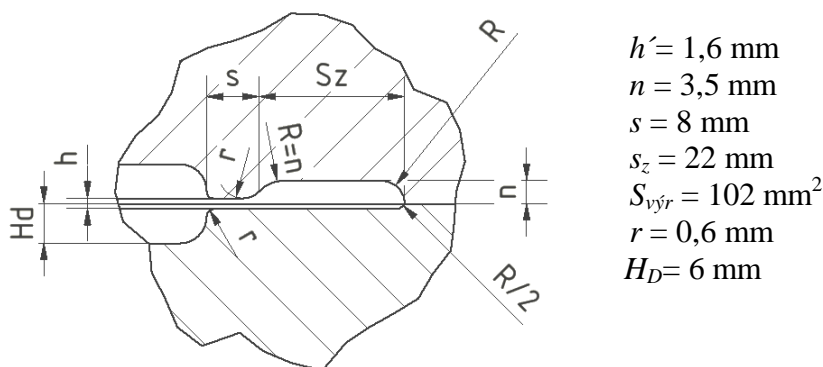
$$h - \text{výška tělesa}$$

Pomocí plochy průřezu se vypočítají jednotlivé rozměry výronkové drážky. Vztah pro výpočet výšky můstku:

$$h' = 0,015 \cdot \sqrt{S_D} = 0,015 \cdot \sqrt{5896,428} = 1,152 \text{ mm} \quad (3.3)$$

$$\text{kde: } h' - \text{výška můstku}$$

Podle výše znázorněné tab. 4 byla vhodná výška můstku stanovena na 1,6 mm a zároveň určeny také ostatní rozměry výronkové drážky, viz obr. 15, vč. jejího obsahu, který činí 102 mm².



Obr. 15 Výronková drážka

Poloměr v přechodu do dutiny se vypočítá dle vztahu:

$$r = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04H_D = \frac{\sqrt{5896,428}}{200} + 0,04H_D = 0,624mm \quad (3.4)$$

$r = 0,6 mm.$

Doporučený maximální poloměr pro dvojčinné buchary s berany do hmotnosti 2000 kg je 3 mm. Pokud by toto zaoblení nevyhovovalo, je možné jej ještě případně obrousit.

3.2 Polotovár, ohřev [4][10][29]

Při stanovení výchozího polotovaru se vychází z celkového objemu materiálu, který se vypočítá z objemu výkovku, objemu výronku vč. blány a objemu propalu. Objem výronku, který zaplní výronkovou drážku z 50 % až 70 % byl vypočítán z objemu výronkové drážky a výkovku určeného opět pomocí programu Autodesk Inventor 2015.

$$\begin{aligned} V_V &= 78\,082,661 \text{ mm}^3 \\ V_{výr.dr.} &= 40\,997,299 \text{ mm}^3 \\ V_{výr} &= 0,7 \cdot V_{výr.dr.} = 0,7 \cdot 40\,997,299 = 28\,698,109 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Objem opalu se vypočítá dle vztahu:

$$\begin{aligned} V_{op} &= (V_V + V_{výr}) \cdot 0,3 = (78\,082,661 + 28\,698,109) \cdot 0,3 \\ V_{op} &= 32\,034,216 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Celkový objem materiálu se vypočítá dle vztahu:

$$\begin{aligned} V_C &= V_V + V_{výr} + V_{op} = 78\,082,661 + 28\,698,109 + 32\,034,216 \\ V_C &= 138\,814,986 \text{ mm}^3 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Dále se počítá výchozí rozměr polotovaru, který by měl mít přiměřené rozměry pro zápustkové kování. Pokud je poměr délky a průměru polotovaru v dovoleném rozsahu, polotovár je vyhovující a lze jej použít do zápustkového kování. Pro kontrolu správných rozměrů polotovaru se využívá daného vztahu:

$$\lambda = \frac{l_0}{D_0} = 1,5 \div 2,8 \quad (3.8)$$

Byla zvolena $\lambda = 2,5 [-]$

Průměr polotovaru:

$$D_{pol} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}} = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{138814,986}{2,5}} = 41,202 \text{ mm} \quad (3.9)$$

S ohledem na nejbližší průměr polotovaru podle rozměrové normy ČSN 425510 byl zvolen $D_{pol} = 40 \text{ mm}$.

Výška polotovaru:

$$l_{pol} = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_{pol}^2} = \frac{4 \cdot 138814,986}{\pi \cdot 40^2} = 110,465 \text{ mm} \quad (3.10)$$

Vzhledem k počtu kusů 800 000 a technologii dělení polotovaru strojní pilou byla zvolena $l_{pol} = 110 \text{ mm}$.

Kontrola štíhlosti polotovaru:

$$\lambda = \frac{l_0}{D_0} = \frac{110}{40} = 2,75 [-] \quad (3.11)$$

Výsledná hodnota štíhlostního poměru vyhovuje standardům. Po provedení kontroly štíhlosti je poměr délky a průměru polotovaru přijatelný, a proto bude použit ve výrobě polotovar o rozměrech $D_{pol} = 40 \text{ mm}$ a $l_{pol} = 110 \text{ mm}$.

Vzhledem k možnostem strojového parku firmy se dodávaná 4m tyčovina bude řezat na automatické pásové pile na kov.

Dále se polotovar musí ohřát, aby jej bylo možné kovat do požadovaného tvaru. Materiál 15 142 pro výkovek má doporučenou teplotu pro tváření za tepla v rozmezí 1100°C až 850°C. Jelikož je součástí rozměrově menší a zvolený materiál je nízkolegovaná ušlechtilá chrom-molybdenová ocel bude ohřev probíhat přímo vysokou rychlostí až k horní hranici doporučené teploty tedy k 1050 °C ±50°C. Pro ohřev materiálu byla zvolena indukční pec. Je zapotřebí spočítat požadovanou frekvenci, dle které se určí hloubka prohřátí polotovaru.

$$f = \frac{3000}{d^2} = \frac{3000}{4,0^2} = 187,5 \text{ Hz} \quad (3.12)$$

Hloubka pronikajícího proudu pod Curieho bodem je 12,7 mm a nad Curieho bodem je to 66 mm.

3.3 Potřebná práce a stroj [4][9][10]

Vzhledem k sériovosti a tvarové složitosti výkovku není nutné polotovar předkovat. Výkovek se zhotoví několika údery v jedné dutině zápusťky. Pro daný výkovek se spočítá potřebná práce. Nejprve se musí spočítat redukovaný průměr nerotační výkovky a určit pevnost materiálu za kovací teploty.

$$D_{DR} = 1,13 \cdot \sqrt{F_D} = 1,13 \cdot \sqrt{58,964} = 8,677 \text{ cm} \quad (3.13)$$

Podle grafu 1 byla určena $\sigma_s = 190 \text{ MPa}$.

Dále se vypočítá práce s redukováným průměrem.

$$A = 18(1 - 0,005 \cdot D_{DR}) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_{DR}}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_{DR}) \cdot D_{DR} \cdot \sigma_3 \quad (3.14)$$

$$A = 18(1 - 0,005 \cdot 8,677) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{8,677}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 8,677) \cdot 8,677 \cdot 190$$

$$A = 38126,357 J$$

Pro výpočet práce nerotačního výkovku je zapotřebí znát největší výšku L_D a největší šířku $B_{Dstř}$ výkovku.

$$L_D = 55 \text{ mm}$$

$$B_{Dstř} = 82 \text{ mm}$$

Do rovnice pro nerotační výkovky se dosadí výše vypočítané hodnoty.

$$A_n = A \cdot \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_D}{B_{Dstř}}}\right) = 38126,357 \cdot \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{55}{82}}\right) = 41248,837 J \quad (3.15)$$

Pro výrobu daného výkovku postačí buchar o jmenovité energii úderu 20 kJ, neboť buchar o vyšší energii by nebyl dostatečně využit a zbytečně by zatěžoval zápustku a snižoval tak její životnost.

3.4 Nástroj – zápustka [4][10][15]

Před samotnou konstrukcí zápustky je důležité shrnout všechny poznatky o výrobě zadané součástky. Teoreticky by zadaná součást měla být vyráběna vyšším výstupkem nahoru. Během kování by však mohlo dojít k posunutí polotovaru a výsledkem by byl vadný výkovek. Po dohodě s konstruktérem byl návrh výroby změněn. Z praktického hlediska se výkovek bude vyrábět vyšším výstupkem dolů, aby se předešlo výše popsaným komplikacím.

Správné umístění tvaru dutiny je znázorněno na obr. 14. Dále se určuje vzdálenost umístění dutiny od okraje

zápustky, která se spočítá pomocí hodnoty T odečtené z nomogramu. Pro její určení je zapotřebí znát hloubku dutiny H_D , poloměr R a úkos α_I .

$$H_D = 46,5 \text{ mm}$$

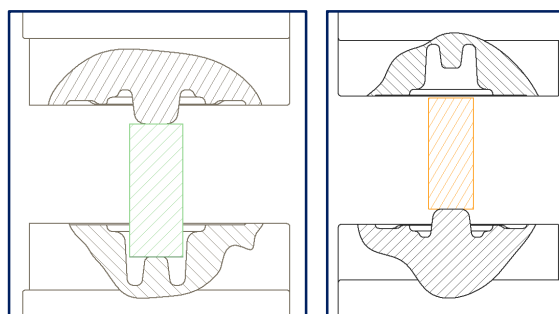
$$R = 4 \text{ mm}$$

$$\alpha_I = 7^\circ$$

Z odečtených hodnot v nomogramu bylo určeno $T = 73$ [-].

Vzdálenost okraje dutiny od okraje zápustky je

$$s = T - 7 = 73 - 7 = 66 \text{ mm} \quad (3.16)$$

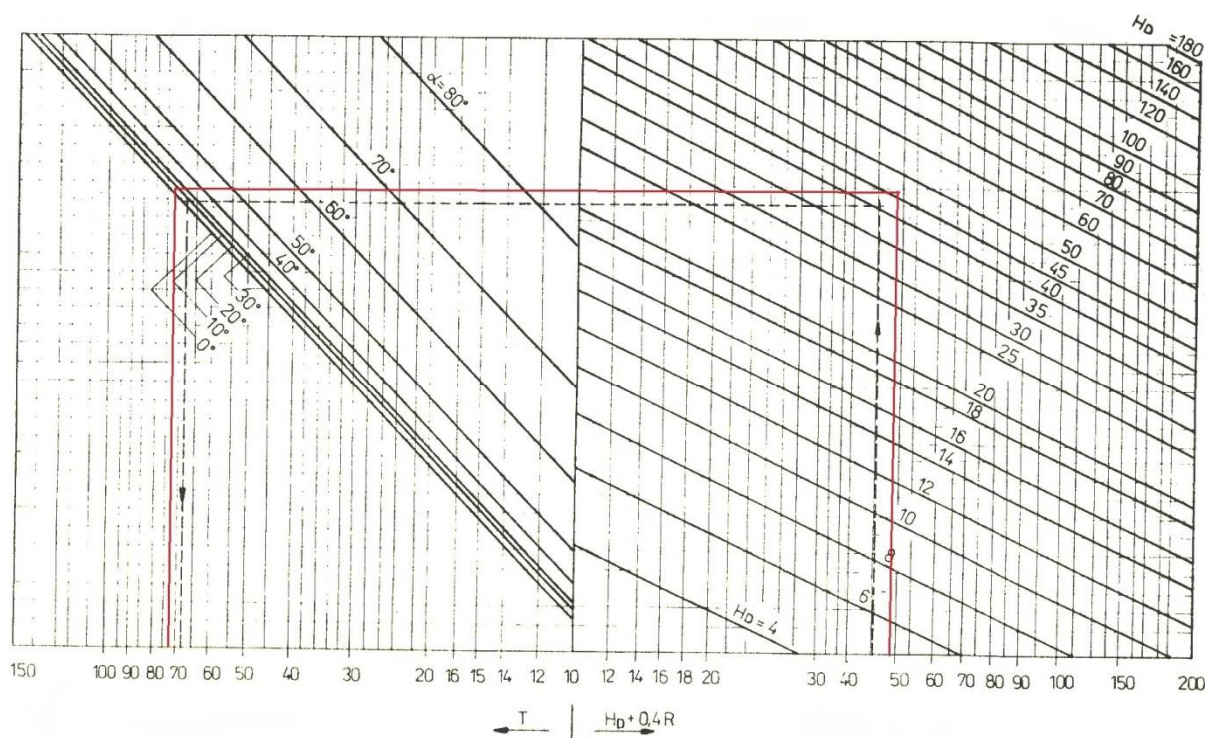


Správně

Špatně

Obr. 16 Umístění tvaru dutiny

Vzdálenost dutiny od okraje zápustky se určuje pomocí nomogramu podle ČSN 22 8308 zobrazeného na obr. 17.



Obr. 17 Nomogram pro určení vzdálenosti dutiny od okraje zápustky [4]

Vzhledem k tomu, že se jedná o jednodutinovou zápustku, je zde zapotřebí zvolit její vedení, aby nedocházelo k posunutí zápustek během kování. Pro lepší přesnost a omezení přesazení výkovku se zápustka opatří 2 vodicími kolíky o průměru 20 mm. Minimální vzdálenost kolíků od kraje zápustky se stanoví dle vztahu:

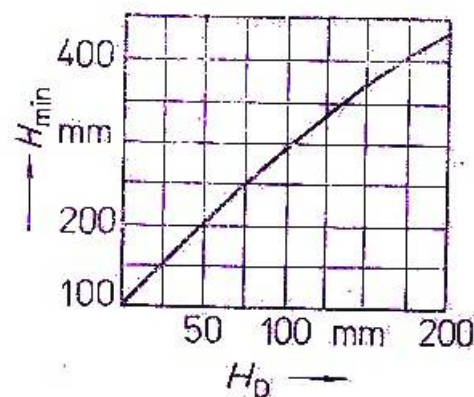
$$a = \frac{5}{6}d_k + 10 = \frac{5}{6}20 + 10 = 26,67 \text{ mm} \quad (3.16)$$

Pro kolík byla zvolena vzdálenost od okraje $a = 27 \text{ mm}$.

Dále se stanoví rozměry zápustky, které jsou ovlivněny především hloubkou dutiny. Výška zápustky se určí z grafu znázorněného na obr. 18. Pro hloubku dolní dutiny $H_D = 46,5 \text{ mm}$ je minimální výška zápustky $H_{min} = 190 \text{ mm}$. Pro horní dutinu $H_D = 11,5 \text{ mm}$ je $H_{min} = 125 \text{ mm}$. Šířka zápustky se volí dle maximální šířky vedení beranu, s tím že se musí odečíst 10 mm z každé strany beranu. Taktéž se určuje délka bloku zápustky.

Vzhledem ke zvolenému stroji, uvedené studii a rozměrům dutiny zápustky byly určeny následující hodnoty rozměrů obou dvou bloků zápustky. Rozměry upínací plochy zápustky: šířka $B = 250$, délka $D = 250 \text{ mm}$ a výška obou bloků $H = 350 \text{ mm}$.

K upevnění zápustky slouží její kořen, jehož rozměry se určují dle hmotnosti beranu. Buchar o energii úderu 20 kJ má beran o hmotnosti 800 kg. Šířka kořenu je 150 mm a výška 35 mm.



Obr. 18 Graf určení výšky zápustky [10]

Pro manipulaci s nástrojem se použijí kolíky o průměru 25 mm (ČSN 21 1416) a délce 170 mm. V zápustce budou po stranách 4 díry o Ø 26H11 a hloubce 50 mm. Jejich vzdálenost od osy zápustky je 42,5 mm a od horního okraje zápustky je vzdálenost

$$t = h \cdot 1,5 = 35 \cdot 1,5 = 52,5 \text{ mm.} \quad (3.17)$$

kde: h – výška kořenu zápustky [mm]

S ohledem na sériovost výroby byl vybrán materiál pro zápustku, ocel 19 552. Je to ocel chromová, do které se dále přidává molybden nebo wolfram a vanad. Díky svým vlastnostem udržuje dobrou pevnost za tepla, odolává úderům, opotřebení a tepelné únavě. Je vhodná pro nástroje, které prochází větším tepelným namáháním, ale nejsou rozměrově veliké.

Drsnost kovací dutiny je $R_a = 12,5 \text{ } \mu\text{m}$, upínací plochy jsou obrobeny na $R_a = 3,2 \text{ } \mu\text{m}$ a ostatní části mají drsnost $R_a = 12,5 \text{ } \mu\text{m}$.

Pro vyjmutí výkovku z dutiny bylo navrženo vybrání pro kleště. Součástí je licí kanálek, který vyztužuje výronek. Velikost vybrání se spočítá pomocí vztahu:

$$B = G_v + 30 = 0,604 + 30 = 30,604 \text{ mm} \quad (3.18)$$

Šířka vybrání byla zvolena na 30 mm. Pro určení ostatních rozměrů se použije tab. 10, kde G_{pol} [kg] je hmotnost polotovaru.

Tab. 10 Rozměry vybrání a licího kanálku [10]

Rozměry vybrání	B [mm]		30	40	50	60	70	80	90	100
	R [mm]		8	10	12,5	15	15	20	20	20
Rozměry licího kanálku	G_{pol}	přes			0,2	2	3,5	5	6,5	8
		do		0,2	2	3,5	5	6,5	8	10
	f [mm]			5	6	7	8	10	12	14
	c [mm]			1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

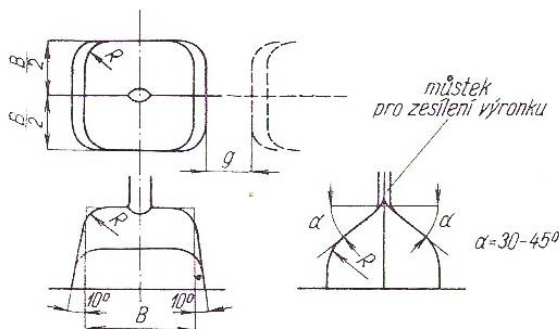
Pro zvolenou šířku vybrání byl určen jeho poloměr na R8. Vzhledem k hmotnosti zvoleného polotovaru

$$m = \rho \cdot V_p = 7850 \cdot 0,000126 = 0,986 \text{ kg}$$

kde: ρ – měrná hustota oceli [kg/m^3]

V_p - objem polotovaru [m^3]

Rozměry licího kanálku se určily z tab. 10. Pro hmotnost polotovaru do 2 kg má licí kanálek šířku kanálku $f = 6 \text{ mm}$ a výšku k dělicí čáře $c = 1,5 \text{ mm}$. Jednotlivé rozměry jsou zobrazeny na obr. 19.



Obr. 19 Rozměry vybrání pro kleště [1]

3.5 Ostřihovací síla a tepelné zpracování [1][9][10]

Ostřihování se provádí především u výkovků vyrobených v otevřených zápustkách, kde se na nich tvoří výronek. V případě navržené blány v otvoru výkovku se musí nejprve děrovat. Ostřihování probíhá za tepla nebo studena. Vzhledem k tomu, že výkovek je zhotoven z materiálu s obsahem uhlíku nižším než 0,5 %, bude se ostřihovat postupně za studena.

Potřebná stříhací síla pro děrování blány:

$$F = 1,7 \cdot \tau_{ps} \cdot o \cdot 2h = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 190 \cdot \pi \cdot D_V \cdot 2h_b \quad (3.19)$$

$$F = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 190 \cdot \pi \cdot 18,6 \cdot 2 \cdot 11 = 332 \text{ N}$$

kde: τ_{ps} - $0,8 \cdot \sigma_s$ [MPa]

o - obvod výkovku [mm]

h_b - tloušťka blány

Potřebná síla pro ostříhování výronku:

$$F = 1,7 \cdot \tau_{ps} \cdot o \cdot 2h = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 190 \cdot \pi \cdot D_{RD} \cdot 2h \quad (3.20)$$

$$F = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 190 \cdot \pi \cdot 86,77 \cdot 2 \cdot 1,6 = 225,290 \text{ kN}$$

kde: D_{RD} - redukovaný průměr [mm]

h - výška výronku

Podle výsledné hodnoty stříhací síly se určí ostříhovací lis, který má stejnou nebo větší stříhací sílu.

3.6 Volba stroje [25][30][31]

Z technologického hlediska je zapotřebí zvolit správné stroje a zvolit jejich umístění. Možnosti jsou omezené strojovým parkem firmy. Přivezený materiál (tyčovina kruhového průřezu) se nařeže na automatické pásové pile. Dále se nařezané polotovary předehejí v indukčním ohříváči a převezou se k protiběžnému bucharu. Zhotovený výkovek se nakonec ostříhne pomocí ostříhovacího lisu.

- Pásová pila 290x290 A-CNC-F – plně automatizovaná pásová pila, na které lze řezat kruhové průřezy do průměru 180 mm. Vhodná k dělení široké škály materiálu, zejména ocel a plné polotovary různých průřezů.
- Středofrekvenční ohříváč KSO 630/3C35 - slouží k ohřívání polotovarů kruhového průřezu. Jak lze vidět v tab. 15, ohřívací zařízení postačí k ohřátí zvoleného polotovaru o průměru 40 mm a délce 100 mm. Doporučená frekvence pro ohřátí daného průměru je 2500 Hz, což ohříváč splňuje. Stroj je znázorněn na obr. 20.



Obr. 20 Indukční ohříváč KSO 630 [31]

Tab. 15 Technické údaje ohřívacího zařízení [31]

Ø D ohřívaného přířezu	[mm]	35 - 70
Délka ohřívaného přířezu	[mm]	1,4D - 320
Maximální ohřáté množství	[kg/h]	1400
Výstupní teplota přířezů	[°C]	max. 1299
Frekvence	[kHz]	1-3
Příkon	[kVA]	745
Výkon	[kW]	630

- Buchar KHZ-2 - pneumaticko-hydraulický protiběžný buchar, viz obr. 21, od firmy Šmeral Brno a.s. Jak již bylo zmíněno, buchar o jmenovité energii 20 kJ bude dostačující pro výrobu navrhnutého výkovku. Jeho základní technické údaje jsou zobrazeny v tab. 12.

Tab. 12 Technické údaje bucharu KHZ-2 [25]

Tvářecí energie	[kJ]	20
Upínací plocha zápustek	[mm]	250x440
Nejmenší výška zápustek	[mm]	250
Max. zdvih beranu	[mm]	400
Počet zdvihů beranu	[min ⁻¹]	20
Celkový instal. výkon	[kW]	30



Obr. 21 Buchar KHZ-2 [25]

- Ostříhovací lis – pro ostřížení výronku na daném výkovku je zapotřebí stříhací síly o 225,29 kN, a proto byl zvolen ostříhovací lis LKOA 200, viz obr. 22, od firmy Šmeral a.s. Technické údaje stroje jsou zobrazeny v tab. 13.

Tab. 13 Ostříhovací lis LKOA 200 [30]

Tvářecí síla	[kN]	2000
Sevření	[mm]	585
Průchod	[mm]	1420
Upínací plocha stolu	[mm]	1415x1000
Upínací plocha beranu	[mm]	1200x800
Zdvih/počet zdvihů	[mm/min ⁻¹]	210/55
Celkový instal. výkon	[kW]	18



Obr. 22 Ostříhovací lis LKOA 200 [30]

Technologický postup			
Název výkovku: Čep s přírubou		Číslo výkresu výkovku: 3- BP-2016 -1T	Číslo výkresu součásti: A4-BP-2016/01
Číslo operace	Název operace		
1	Dělení materiálu		
	Stroj: Pásová pila 290x290 A-CNC-F	Profil : Ø 40	ČSN 10060
	Hmotnost přířezu: 1,084	Délka: 110 mm	Jakost materiálu: ocel 15 142
2	Mezioperační kontrola		
	Kontrolovat rozměry přířezu s četností 5 %		
3	Indukční ohřev		
	Stroj: středofrekvenční ohřívač KSO 630/3C35	Teplota: 1050 ± 50 °C	
4	Zápusťkové kování		
	Stroj: KHZ - 2	Tvářecí energie: 20 kJ	Kovací teplota: 850°C
5	Stříhání		
	Stroj: Ostříhovací lis LKOA 200		Střížná síla: 2000 kN
6	Tepelné zpracování:		
	Druh: Normalizační žihání		Žihací teplota: 890°C po 15 minut
7	Povrchová úprava		
	Druh: Pískování		Stroj: stolový tryskací stroj Wheelabrator
8	Výstupní kontrola		

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [19],[20]

Technicko-ekonomické zhodnocení se zabývá kalkulací nákladů na výrobu zadané součásti. Náklady se dělí na fixní (nezávislé) a proměnné (závislé).

- Fixní náklady – nezávisí na objemu výroby, nýbrž jsou to pravidelné náklady, které se musejí vynaložit, aby se podnik udržel v chodu. Je to například vyplácení mezd pracovníkům, náklady na spotřebu el. energie, nájemné aj.
- Proměnné náklady – závisí na změně objemu výroby. Mezi ně patří přímé náklady a režijní. Například náklady na nákup materiálu se mění dle její spotřeby, nákup nových strojů, úkolové mzdy nebo odměny aj.

Pro zhodnocení bude porovnávána výroba obrábění a zápusťkové kování dané součásti.

Vstupními hodnotami jsou

- Výrobní kapacita: $n = 800\,000$ [ks/rok]
- Čistá hmotnost součásti: $m_c = 0,604$ [kg]
- Cena za kg oceli 15142: $c_b = 32,51$ [Kč /kg]
- Výkupní cena kovového odpadu: $c_v = 3,50$ [Kč/kg]
- Hodinová mzda výrobního dělníka: $M_d = 135$ [Kč]

4.1 Náklady na výrobu - obrábění

- Spotřeba materiálu – polotovar má obdélníkový tvar o rozměrech 80x95x60 mm.
Náklady na 1 kus polotovaru o hmotnosti $m_h = 3,47$ kg:
$$Nm_h = m_h \cdot c_b = 3,47 \cdot 32,51 = 112,81 \text{ Kč} \quad (4.1)$$

Celkové náklady na výrobu:
$$N_C = n \cdot Nm_h = 800\,000 \cdot 112,81 = 90\,247\,760 \text{ Kč} \quad (4.2)$$
- Mzdy výrobních dělníků:
Mzdy na kus- výrobní čas na jednu součást: $t_k = 19,5$ [min]
$$M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot M_d = \frac{19,5}{60} \cdot 135 = 43,88 \text{ Kč} \quad (4.3)$$

Celkové mzdy:
$$M_C = M_{v1} \cdot n = 43,88 \cdot 800\,000 = 35\,104\,000 \text{ Kč} \quad (4.4)$$
- Vratný odpad - během obrábění vzniká velké množství kovového odpadu, který lze zpeněžit vrácením do sběrný kovového šrotu.
Odpad z jednoho kusu polotovaru:
$$m_v = m_h - m_c = 3,47 - 0,604 = 2,866 \text{ kg} \quad (4.5)$$

Hmotnost celkového odpadu:
$$M = m_v \cdot n = 2,866 \cdot 800\,000 = 2292800 \text{ kg} \quad (4.6)$$

Celková cena kovového odpadu:
$$C_m = M \cdot c_v = 2292800 \cdot 3,50 = 8\,024\,800 \text{ Kč} \quad (4.7)$$
- Dílenská režie – třískové obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků.

$$R_D = \frac{650}{100} \cdot N_C = \frac{650}{100} \cdot 90247760 = 586610440 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

- Podniková režie – činí 200 % mezd výrobních dělníků.

$$R_P = \frac{200}{100} \cdot N_C = \frac{200}{100} \cdot 90247760 = 180495520 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

- Ostatní náklady – pořizovací cena nástrojů, nářadí aj.
N = 45 500 Kč

4.2 Náklady na výrobu – zápusťkové kování

Náklady na výrobu se budou počítat i včetně dokončovací operace obrábění.

- Spotřeba materiálu- polotovar je kruhového průřezu o rozměrech Ø 40 x 100mm.
Náklady na 1 kus polotovaru o hmotnosti $m_h = 1,085$ kg

$$Nm_h = m_h \cdot c_b = 1,085 \cdot 32,51 = 35,27 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

Celkové náklady na výrobu:

$$N_C = n \cdot Nm_h = 800\,000 \cdot 35,27 = 28\,218\,680 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

- Mzdy výrobních dělníků:

Mzdy na kus: výrobní čas na jednu součást pro zápusťkové kování: $t_k = 12$ [min]

$$M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot M_d = \frac{12}{60} \cdot 135 = 27 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

Celkové mzdy:

$$M_C = M_{v1} \cdot n = 27 \cdot 800\,000 = 21\,600\,000 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

Mzdy na kus: výrobní čas na jednu součást pro dokončovací obrábění: $t_k = 5,3$ [min]

$$M_{v1} = \frac{t_k}{60} \cdot M_d = \frac{5,3}{60} \cdot 135 = 11,93 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

Celkové mzdy:

$$M_C = M_{v1} \cdot n = 11,93 \cdot 800\,000 = 9\,540\,000 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

- Vratný odpad – zápusťkové kování

Odpad z jednoho kusu polotovaru:

$$m_v = m_h - m_c = 1,085 - 1,043 = 0,042 \text{ kg} \quad (4.16)$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$M = m_v \cdot n = 0,042 \cdot 800\,000 = 33\,600 \text{ kg} \quad (4.17)$$

Celková cena kovového odpadu:

$$C_m = M \cdot c_v = 33\,600 \cdot 3,50 = 117\,600 \text{ Kč} \quad (4.18)$$

- obrábění

Odpad z jednoho kusu polotovaru:

$$m_v = m_h - m_c = 1,043 - 0,604 = 0,439 \text{ kg} \quad (4.19)$$

Hmotnost celkového odpadu:

$$M = m_v \cdot n = 0,439 \cdot 800\,000 = 351\,200 \text{ kg} \quad (4.20)$$

Celková cena kovového odpadu:

$$C_m = M \cdot c_v = 351\,200 \cdot 3,50 = 1\,229\,200 \text{ Kč} \quad (4.21)$$

- Dílenská režie – pro zápusťkové kování činí 1000 % mezd výrobních dělníků.

$$R_D = \frac{1000}{100} \cdot N_C = \frac{1000}{100} \cdot 28\,218\,680 = 282\,186\,800 \text{ Kč} \quad (4.22)$$

– pro třískové obrábění činí 650 % mezd výrobních dělníků.

$$R_D = \frac{650}{100} \cdot N_C = \frac{650}{100} \cdot 28\,218\,680 = 183\,421\,420 \text{ Kč} \quad (4.23)$$

- Podniková režie – činí 200 % mezd výrobních dělníků.

$$R_p = \frac{200}{100} \cdot M_{v1} = \frac{200}{100} \cdot 25640000 = 51280000 \text{ Kč} \quad (4.24)$$

- Ostatní náklady – pořizovací cena nástrojů, nářadí aj.

Cena za 1 zápustku: $N_{Z1}=23\,700 \text{ Kč}$

Celkové náklady na zápustky: $N_Z = 948\,000 \text{ Kč}$

Náklady na ostříhovací nástroj: $N_o = 125\,000 \text{ Kč}$

Celkové náklady činí: $1\,073\,000 \text{ Kč}$

Porovnání jednotlivých nákladů při obrábění a zápustkovém kování jsou znázorněny v tab. 14 a tab. 15

Tab. 14 Porovnání technicko - ekonomických ukazatelů

Technologie	-	Obrábění	Zápustkové kování (vč. obrábění)
Spotřeba materiálu za kus	[kg]	3,47	1,085
Hmotnost odpadu	[kg]	2 292 800	384 800
Pracnost	[min]	19,5	17,3

Tab. 15 Porovnání nákladů jednotlivých technologií

	Technologie		Úspora zápustkového kování oproti obrábění [Kč]
	Obrábění [Kč]	Zápustkové kování (vč. obrábění) [Kč]	
Materiál	90 247 760	28 218 680	62 029 080
Mzdy výrobních dělníků	35 104 000	31 140 000	3 964 000
Dílenská režie	586 610 440	465 608 220	121 002 220
Podniková režie	180 495 520	51 280 000	129 215 520
Ostatní náklady	45 500	1 073 000	- 1 027 500
Vratný odpad	- 8 024 800	- 1 346 800	-9 371 600
Celkové náklady	884 478 420	575 973 100	308 505 320
Náklady na 1 kus	1 105,6	719,97	385,63

Z výsledků porovnaných technologií je vidět, že výroba čepu s přírubou zápustkovým kováním je výrazně ekonomicky výhodnější, než-li by se součást obráběla. Finančně nejnákladnější je pro obrábění materiál, kde je zvolený dostatečně velký polotovár. Při zápustkovém kování se počítá spíše s minimálním odpadem. Výrazné rozdíly nákladů se projevily v konečné ceně výrobku. Výrobou čepu zápustkovým kováním, bylo ušetřeno až 385, 63 Kč za kus.

ZÁVĚRY

Cílem bakalářské práce bylo vypracování návrhu výroby čepu s přírubou. Vzhledem k vypracované studii různých technologií, byla zvolena nejvhodnější metoda - zápustkové kování.

Nejprve byl vypracován rozbor zadané součásti, který se zabýval především funkcí součástky. Vzhledem k dynamickému namáhání a opotřebení vnitřních ploch v otvoru čepu byl zvolen materiál 15 142, který je dostatečně pevný a zaručí menší opotřebení součástky. S ohledem na tvar a sériovost se zvolil tvářecí stroj – buchar.

V druhé kapitole se podrobněji řešila technologie zápustkového kování pro buchar. Zde se detailněji rozebral nejen výrobní postup, konstrukce kovacíh nástrojů-zápustek a strojů ale také navrhování výkovku. Počínaje výkresovou dokumentací součásti, určením přídavek a tolerancí až po zhotovení výkresové dokumentace výkovku.

Třetí kapitola je praktickou částí práce a zabývá se konstruováním výkovku. Nejprve byla zvolena dělicí rovina, která prochází podélně přírubou. Poté se výkovek zatřídil dle tvarové složitosti (7734.3), aby bylo možné určit další parametry. Pro výkovek byly určeny přídavky na obrábění ploch o velikosti 2,5 mm, mezní úchytky, poloměry, vnitřní úkosy na 7 ° a vnějších na 3 ° a nakonec se zvolila tloušťka blány na 11 mm bez zkosení do středu.

Dále byla určena správná velikost a tvar výronkové drážky, aby vznikl dostatečný tlak a kov zaplnil všechna místa v dutině. Dále byla v této kapitole určena potřebná práce, která činí 41 248,837 J, a dle níž byl zvolen buchar o dostatečné jmenovité energii 40 kJ. Tvářecí stroj o vyšší energii by zatěžoval zápustku, což by přispělo ke snížení její životnosti a zvýšení nákladů na výrobu dalších zápustek. Při navrhování tvaru dutiny se musí dodržovat určitá pravidla. Jedním z nich je umístování dutiny s velkými výstupky do horní části zápustky. Dutina pro danou součást by však nevyhovovala při kování, neboť by docházelo k posunu polotovaru. Proto se negativní tvar výkovku otočil výstupkem dolů a bloky zápustky se zajistily 2 vodícími kolíky před možným přesazením zápustky. Pro snadné vyjmutí výkovku bylo také zkonstruováno vybrání pro kleště.

Zhotovený výkovek se následně za studena děruje a ostříhne na stříhacím lisu LKOA 200. Výkovek se bude normalizačně žíhat na 890 ° po dobu 15 minut. Pro odstranění okují bylo zvoleno pískování.

Poslední kapitola je technicko-ekonomické zhodnocení, kde se porovnávají náklady na materiál a mzdy výrobních dělníků při výrobě součástky obráběním a zápustkovým kovááním. Z výsledků je zřejmé, že výroba součástky zápustkovým kovááním je ekonomicky výhodnější. Úspora na nákladech jednoho kusu byla až 385,63 Kč.

Podle studie a vypočítaných hodnot byli zkonstruovány výkresy součásti, výkovku a zápustky.

Z předešlé studie a zhodnocení je zřejmé, že technologie zápustkového kování je nezbytnou součástí výrobního průmyslu. Výroba touto technologií je velmi efektivní a vysoce kvalitní. Zápustkové kování se nejvíce uplatňuje při výrobě strojních součástí, které mají velké nároky na pevnost a nízké opotřebení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. Praha: SNTL, 1965, 730 s. ISBN 04-233-65.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006, 217 s. ISBN 8-214-2374-9.
4. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
5. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. Brno: Dům techniky, 1994, 230 s.
6. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007, 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
7. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972.
8. PRIMUS, František. *Teorie objemové tváření*. Praha: ČVUT, 1990, s. 250.
9. SOMMER, Boris. *Technologie kování*. Ostrava: Ediční středisko vysoké školy báňské v Ostravě, 1965, 200 s.
10. ŠANOVEC, Jan. *Technologická cvičení: Návrh technologie zápusťkového kování*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987, 32 s.
11. SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-750-5.
12. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-751-2.
13. KŘEN, Karel a Jiří KOŠTÁL. *Moderní automobil v obrazech*. Praha: Naše vojsko, nakladatelství a distribuce knih, 1972, 180 s.
14. ČSN 22 8308 *Zápusťky pro buchary: Směrnice pro konstrukci*. Praha: ÚNM, 1970.
15. ČSN 21 1416 *Dopravní kolíky a díry pro dopravní kolíky, pro zápusťky a držáky*. Praha: ÚNM, 1970.
16. ČSN 42 9002 *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: ÚNM, 1970.

17. ČSN 42 0277 *výkovky ocelové zápustkové, přídavky na obrábění a mezní úchylka tvarů*. Praha: ÚNM, 1970.
18. ČSN 21 1410 *Upínání zápustek. Základní ustanovení*. Praha: ÚNM, 1970.
19. Feron. *Feron: Velkoobchod hutním materiálem* [online]. Feron a.s., 2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/index.php>
20. Ceník. *Arcimpex s.r.o.* [online]. Ostrava: Zebu webdesign s.r.o. [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: www.arcimpex.cz
21. Největší protiběžný buchar na světě. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: AG TOP TIP, 2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nejvetsi-protibezny-buchar-na-svete.html>
22. Přehled vlastností oceli 42CrMo4 (42CrMoS4). *Bohdan Bolzano* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano s.r.o., 2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_42CrMo4.pdf
23. Nazávislé zavěšení kol – lichoběžníkové a MacPherson. *Autoznanosti: Víme, co je pod kapotou* [online]. Autoznanosti, 2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/42-nazavisle-zaveseni-kol.html>
24. Podvozkové centrum APM Bilstein - 4. díl: Kulové čepy. *Autoprofiteam* [online]. APM Automotive, 2004 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://www.autoprofiteam.cz/article.php?artid=549>
25. Ostříhovací lisy. *Šmeral Brno a.s.* [online]. Brno: WEB147.cz, 2015 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: http://www.smeral.cz/ostrihovaci_lisy.html
26. Tvrdé chromování. *Rosma* [online]. Martin Bábíček, 2012 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: http://rosma.cz/_galvanovna/tvrde-chromovani.html
27. Bridgat. *Bridgat* [online]. Changshu Su-čou Jiangsu, 2015 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: http://b2b.bridgat.com/cs/flanges_forgings_open_die_forging_free_forging-o299923.html
28. ČSN 42 9030 *Výkovky ocelové zápustkové. Přídavky na obrábění, mezní úchylky rozměrů a tvarů*. Praha: ÚNM, 1970.
29. ČSN 42 5510 *Tyče ocelové kruhové válcované za tepla. Rozměry. Část 1: Normální a zvýšená přesnost*. Praha: ÚNM, 1970.
30. Pneumaticko-hydraulické lisy. *Šmeral Brno a.s.* [online]. Brno: WEB147.cz, 2015 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/buchary.html>
31. Indukční ohříváče. *Roboterm Chotěboř* [online]. Chotěboř: Pavlíček.cz, 2012 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://www.roboterm.cz/reference/indukcni-ohrivace/>

32. Databáze patentov slovenska. *Databáze patentov slovenska* [online]. 2016 [cit. 2016-06-20]. Dostupné z: <http://skpatents.com/4-261322-prubezna-pec-pro-tepelne-zpracovani.html>
33. LIDMILA, Zdeněk. *Konstrukce zápusťek pro kovací buchary: Typy kovacíh bucharů* [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-06-20]. Přednáška. VUT FSI v Brně.

5 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Práce	[J]
a	Minimální vzdálenost kolíku	[mm]
B	Šířka	[mm]
b	šířka můstku	[mm]
c _b	cena za kg oceli	[Kč]
C _m	Celková cena kovového odpadu	[Kč]
c _v	výkupní cena kovového odpadu	[Kč/kg]
D _{RD}	Redukovaný průměr	[mm]
F	frekvence	[Hz]
F	Potřebná síla	[N]
h _b	tloušťka blány	[mm]
h	výška výronku	[mm]
o	obvod	[mm]
n	výrobní kapacita	[ks/rok]
N	Ostatní náklady	[Kč]
N _C	Celkové náklady na výrobu	[Kč]
Nm _h	Náklady na 1 kus polotovaru	[Kč]
m _c	Čistá hmotnost součásti	[kg]
m _h	hmotnost polotovaru pro obrábění	[kg]
M _d	Hodinová mzda výrobního dělníka	[Kč]
M _{V1}	Mzdy za kus	[Kč]
m _v	Odpad z jednoho kusu	[kg]
R	Poloměr	[mm]
R _D	Díleňská režie	[Kč]
R _P	Podniková režie	[Kč]
S	Tloušťka blány	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
S_D	Plocha průmětu	$[\text{mm}^2]$
t_1	dokovací teplota	$[\text{°C}]$
T	Teplota	$[\text{°C}]$
V	Objem tělesa	$[\text{m}^3]$
V_P	objem polotovaru	$[\text{m}^3]$

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků objemového tváření za tepla [27].....	9
Obr. 2 Zavěšení kola [23]	10
Obr. 3 Sestava kloubu	10
Obr. 4 Výkres součásti.....	11
Obr. 5 Průběžná pec [32]	15
Obr. 6 Zaoblení hran r a přechodů R [1].....	17
Obr. 7 Dokončovací dutina [1].....	19
Obr. 8 Typy výronkových drážek [4]	21
Obr. 9 Tvary a rozměry vedení [4].....	22
Obr. 10 Vodicí kolík [4]	22
Obr. 11 Schéma upnutí zápustky [1]	22
Obr. 12 Druhy strojů pro zápustkové kování [33].....	23
Obr. 13 Návrh výkovku	25
Obr. 14 Plocha průmětu	26
Obr. 15 Výronková drážka.....	27
Obr. 16 Umístění tvaru dutiny	29
Obr. 17 Nomogram pro určení vzdálenosti dutiny od okraje zápustky [4]	30
Obr. 18 Graf určující výšky zápustky [4]	30
Obr. 19 Rozměry vybrání pro kleště [1].....	31
Obr. 20 Indukční ohřívač KSO 630 [31]	32
Obr. 21 Buchar KHZ – 2 [25].....	33
Obr. 22 Ostříhovací lis LKOA 200 [30].....	33

6 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli 15 142 [22]	10
Tab. 2 Tepelné zpracování oceli 15 142 [22]	10
Tab. 3 Hloubka proudu indukční ohřev [1]	15
Tab. 4 Přídavky na obrábění [11].....	17
Tab. 5 Zaoblení přechodů R a hran r [11]	18
Tab. 6 Mezní úchytky rozměru dokončovací dutiny [10]	20
Tab. 7 Rozměry výronkové drážky [10].....	21
Tab. 8 Vlastnosti výkovku	26
Tab. 9 Objem průmětu.....	26
Tab. 10 Rozměry vybrání a licího kanálku [10]	31
Tab. 11 Technické údaje ohřívacího zařízení [31].....	32
Tab. 12 Technické údaje bucharu KHZ – 2 [25]	32
Tab. 13 Ostříhovací lis LKOA 200 [30].....	32
Tab. 14 Porovnání technicko-ekonomických ukazatelů.....	36
Tab. 15 Porovnání nákladů jednotlivých technologií.....	36

SEZNAM VÝKRESŮ

Čep s přírubou	A4-BP-2016/01
Výkovek	A3-BP-2016/01
Sestava	A2-BP-2016/03